

RECOMMANDATION UIT-R SA.1154*,**

Dispositions propres à assurer la protection des services de recherche spatiale (SRS), d'exploitation spatiale (SES) et d'exploration de la Terre par satellite (SETS) et à faciliter le partage avec le service mobile dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz

(1995)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz sont attribuées à titre primaire à trois des services scientifiques spatiaux (SRS, SES, et SETS), au service fixe et au service mobile, ce dernier étant soumis aux dispositions des numéros 5.391 et 5.392 du Règlement des radiocommunications;
- b) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92), dans sa Résolution N° 211, invite l'ex-CCIR à poursuivre l'étude de dispositions propres à protéger les services scientifiques spatiaux fonctionnant dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz contre les brouillages préjudiciables provenant d'émissions de stations du service mobile et à communiquer les résultats de ses travaux à la prochaine conférence compétente;
- c) que les services SRS, SES et SETS sont de plus en plus utilisés dans ces bandes de fréquences par les stations spatiales sur orbite basse;
- d) que l'introduction des futurs systèmes mobiles terrestres à forte densité de stations mobiles ou de systèmes mobiles terrestres classiques dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz causerait des brouillages inacceptables aux services SRS, SES et SETS; pour un complément d'information, voir l'Annexe 1;
- e) que selon certaines études, des systèmes mobiles spécifiques à faible densité de stations mobiles, tels que ceux décrits dans l'Annexe 2, pourraient utiliser les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz en partage avec les services SRS, SES et SETS;
- f) que dans certains pays, les services scientifiques spatiaux sont exploités avec succès depuis de nombreuses années en partage avec les systèmes mobiles de reportage d'actualités (ENG) à faible densité de stations mobiles (voir l'Annexe 3) et les systèmes mobiles aéronautiques de télémesure (voir l'Annexe 4), sans restrictions, encore que des restrictions s'imposeront peut-être ultérieurement étant donné le rythme auquel on prévoit que ces systèmes se développeront;
- g) que les services scientifiques spatiaux exploités dans la bande 2 200-2 290 MHz sont plus sensibles aux brouillages que ces mêmes services exploités dans la bande 2025-2 110 MHz car les antennes à gain élevé des satellites relais de données géostationnaires sont pointées en direction de la Terre lorsqu'elles assurent la poursuite d'un engin spatial sur orbite basse;
- h) que, sur l'ensemble des critères de protection imposés aux trois services scientifiques spatiaux, ceux imposés au service SRS sont les plus stricts et offrent une protection satisfaisante aux services SRS, SES et SETS;

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 4, 8 et 9 des radiocommunications.

** La Commission d'études 7 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2003 conformément à la Résolution UIT-R 44.

- j) que la Recommandation UIT-R SA.609 (§ 1, 1.1, 1.2 et 2) spécifie les critères de protection applicables au service SRS;
- k) que les critères de protection de la Recommandation UIT-R SA.609 ont été utilisés à maintes reprises dans les études de partage et sont communément admis;
- l) que les services SRS, SES et SETS utilisent les bandes 2025-2 110 MHz et 2200-2290 MHz pour les radiocommunications Terre-espace, espace-Terre et espace-espace. Les liaisons espace-espace supposent généralement l'utilisation d'un satellite relais de données du type décrit dans le système fictif de référence des Recommandations UIT-R SA.1020 et UIT-R SA.1018. Les critères de partage doivent tenir compte des impératifs de protection des liaisons de radiocommunication établies par satellite relais de données dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2200-2290 MHz;
- m) que pour la protection des services SRS, SES et SETS, pour les liaisons Terre-espace et espace-Terre, un rapport bruit/brouillage de 6 dB, se traduisant par une dégradation de 1 dB, est considéré comme étant suffisant dans la plupart des cas;
- n) que, compte tenu des marges généralement faibles (2 dB, voire moins) imposées aux liaisons espace-espace, un rapport bruit/brouillage de 10 dB, se traduisant par une dégradation de 0,4 dB, est considéré comme étant nécessaire pour les liaisons espace-espace des satellites relais de données;
- o) que les bandes considérées ici sont utilisées en partage avec le service fixe et le service mobile. Chaque service est présumé contribuer pour la moitié au brouillage total causé à l'engin spatial. En raison de la coordination prévue, on admet par hypothèse qu'un seul des services cause des brouillages à une station terrienne;
- p) que les satellites relais de données sont généralement placés sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG);
- q) que la bande 2025-2 110 MHz est utilisée pour les liaisons Terre-espace du SRS, du SES et du SETS à destination de l'engin spatial sur orbite basse ou de l'engin spatial sur l'OSG. Cette bande est également utilisée pour les liaisons espace-espace du SRS, du SES et du SETS, qui sont généralement des liaisons de radiocommunication entre un engin spatial sur orbite basse et un satellite relais de données;
- r) que la bande 2200-2290 MHz est utilisée pour les liaisons espace-Terre du SRS, du SES et du SETS à partir d'engins spatiaux sur orbite basse ou sur l'OSG. Cette bande est également utilisée pour les liaisons espace-espace du SRS, du SES et du SETS, généralement pour des émissions de radiocommunication d'un engin spatial sur orbite basse à destination d'un satellite relais de données;
- s) que les termes de densité appliqués aux systèmes mobiles se rapportent au nombre de systèmes et à la répartition du parc de terminaux de ces systèmes,

reconnaisant

1 que la spécification d'un nombre maximal de stations mobiles dans le monde entier, fonctionnant dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2200-2290 MHz, tel que le niveau de brouillage total ne dépasse pas les critères de partage, peut constituer une solution technique valable, encore que parfois peu pratique à mettre en œuvre,

reconnaisant en outre

1 qu'une certaine combinaison des caractéristiques techniques et de fonctionnement de systèmes mobiles particuliers facilite le partage et que le partage entre ces systèmes mobiles et les services SRS, SES et SETS peut être décrit tant en termes qualitatifs que quantitatifs,

recommande

1 que les dispositions suivantes soient appliquées pour protéger les services SRS, SES et SETS contre l'ensemble des brouillages causés par les émissions des systèmes mobiles dans la bande 2 025-2 110 MHz:

1.1 que le brouillage cumulatif à l'entrée du récepteur de l'engin spatial, sauf dans le cas d'une liaison espace-espace, ne dépasse pas -180 dB(W/kHz) pendant plus de 0,1% du temps;

1.2 que, dans le cas de liaisons espace-espace, le brouillage cumulatif aux bornes d'entrée du récepteur de l'engin spatial ne dépasse pas -184 dB(W/kHz) pendant plus de 0,1% du temps;

2 que les dispositions suivantes soient appliquées pour protéger les services SRS, SES et SETS contre l'ensemble des brouillages causés par les émissions des systèmes mobiles dans la bande 2 200-2 290 MHz:

2.1 que le brouillage cumulatif à l'entrée du récepteur de la station terrienne ne dépasse pas -216 dB(W/Hz) pendant plus 0,1% du temps;

2.2 que le brouillage cumulatif à l'entrée du récepteur du satellite relais de données ne dépasse pas -184 dB(W/kHz) pendant plus de 0,1% du temps;

3 que l'introduction de systèmes mobiles à forte densité de stations mobiles ou de systèmes mobiles classiques soit évitée dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz, en raison des brouillages inacceptables que ces systèmes causeraient aux services SRS, SES et SETS, comme le confirme l'Annexe 1;

4 que les nouveaux systèmes mobiles soient introduits de manière que leur mise en place dans le monde entier ne se traduise pas, à terme, par des niveaux de brouillage cumulatif supérieurs aux valeurs indiquées aux § 1 et 2 ci-dessus;

5 que soient retenues de préférence, pour l'introduction de nouveaux systèmes mobiles, des caractéristiques techniques et de fonctionnement telles que les suivantes: faibles densités spectrales de puissance, faibles densités de terminaux, à l'échelle mondiale, et transmissions intermittentes (voir l'Annexe 2);

6 que, pour l'étude des nouveaux systèmes mobiles à faible densité de stations mobiles que l'on pourrait exploiter dans la bande 2 025-2 110 MHz, des caractéristiques techniques et de fonctionnement semblables à celles décrites dans l'Annexe 3 soient retenues à titre indicatif;

7 que, pour l'étude des nouveaux systèmes mobiles à faible densité de stations mobiles que l'on pourrait exploiter dans la bande 2 200-2 290 MHz, des caractéristiques techniques et de fonctionnement semblables à celles décrites dans l'Annexe 4 soient retenues à titre indicatif.

Annexe 1

Etude de compatibilité des services de recherche spatiale/d'exploitation spatiale et des systèmes mobiles terrestres à forte densité de stations mobiles

1 Introduction

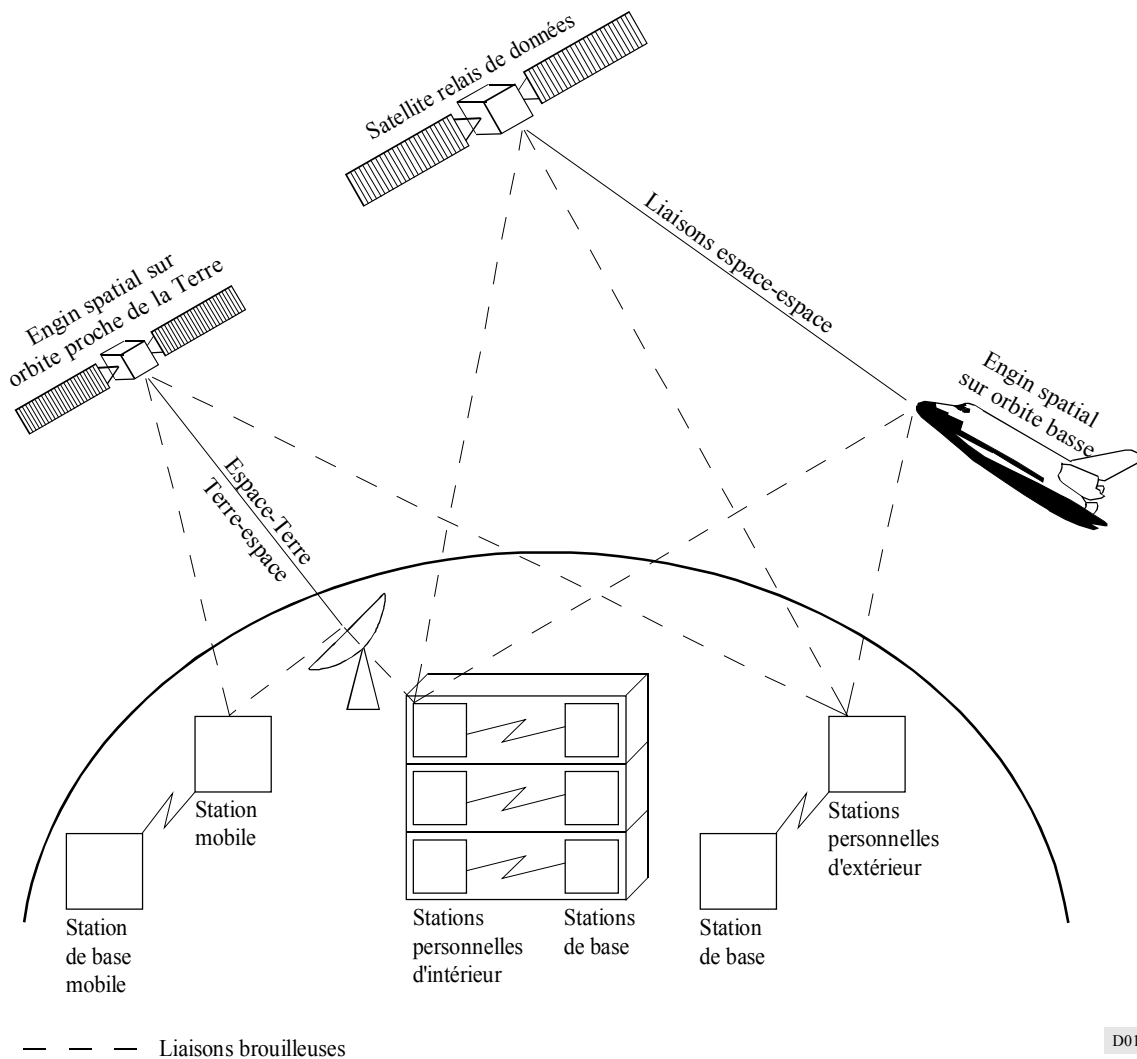
Le partage entre les systèmes mobiles terrestres à forte densité de stations mobiles et les systèmes mobiles terrestres classiques, d'une part, et les services spatiaux, d'autre part, est impossible. Les éléments rapportés ici sont tirés pour l'essentiel des contributions qui ont amené la conférence à cette conclusion; ils en analysent les tenants et les aboutissants. Le système mobile considéré dans la présente étude est le futur système mobile terrestre public de télécommunication (FSMTPT). Le modèle utilisé est également applicable aux systèmes mobiles de type classique.

Les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz sont intensivement utilisées dans le monde entier par les services d'exploitation spatiale, d'exploration de la Terre par satellite et de recherche spatiale, grâce à la conclusion de nombreux accords d'assistance internationale réciproque entre agences spatiales. En raison des grandes distances entre les émetteurs et les récepteurs, les niveaux des signaux reçus par les récepteurs sont très faibles. Par conséquent, ces services sont très sensibles aux brouillages, d'où l'utilité de niveaux de protection élevés tels que spécifiés dans le RR et dans les Recommandations UIT-R.

La Fig. 1 montre les diverses liaisons considérées et les configurations de brouillage qui en résultent. Seuls les services vocaux sont pris en considération pour les stations personnelles et mobiles. Les autres brouillages causés par les stations de base n'ont pas encore été étudiés.

FIGURE 1

Configurations de brouillage entre stations FSMTPT et services spatiaux



Les responsables de la gestion des fréquences ont déjà beaucoup de difficultés à l'heure actuelle pour satisfaire aux nouvelles demandes d'assignations des services spatiaux qui ont déjà des attributions, et ce d'une manière qui permette de réduire au minimum l'incidence des brouillages sur les assignations existantes, il leur est de plus en plus difficile d'assurer le partage intraservice avec de nouveaux utilisateurs.

Dans le cas des services mobiles, les diagrammes de rayonnement des antennes sont quasi équidirectifs et les dizaines de millions d'émetteurs mobiles prévus ont un niveau de brouillage cumulatif très élevé. Les stations FSMPTPT étant par définition «mobiles», toute coordination est impossible pour des raisons évidentes. Il peut être démontré que, pour pratiquement chaque configuration considérée, le partage avec ces systèmes mobiles n'est pas réalisable.

2 Aspects concernant le RR et l'occupation des bandes

Les bandes 2025-2110 MHz et 2200-2290 MHz sont attribuées à titre coprimaire aux services SRS, SES et SETS ainsi qu'au service mobile dans toutes les régions de l'UIT.

Les niveaux de brouillage maximaux acceptables pour chacune des stations sont définis dans le Tableau 8b de l'Appendice 7 du RR et dans les Recommandations UIT-R SA.363 et UIT-R SA.609. Les diagrammes de rayonnement des antennes des stations terriennes sont fondés sur les diagrammes de rayonnement spécifiés dans l'Annexe III de l'Appendice 8 du RR. Les angles de site minimaux des antennes de stations terriennes sont conformes aux numéros 21.15 et 21.14 du RR. Les niveaux de brouillage des récepteurs des engins spatiaux sont spécifiés dans les Recommandations UIT-R SA.609 et UIT-R SA.363.

La bande 2025-2110 MHz compte actuellement plus de 300 assignations. La bande 2200-2290 MHz en compte plus de 350. Pour les liaisons espace-espace, on dénombre actuellement six attributions pour le système relais de données et un certain nombre d'attributions nouvelles en cours pour le programme international de stations spatiales ainsi que pour les programmes européens et japonais de satellites relais de données.

Il apparaît à l'évidence que les bandes en question sont très utilisées par les services spatiaux et qu'un grand nombre de satellites et de stations terriennes seraient affectés par l'exploitation de services mobiles terrestres dans ces bandes de fréquences.

3 Hypothèses concernant les systèmes des services mobiles terrestres (FSMPTPT)

Une large gamme de services est prévue pour les futurs systèmes mobiles de télécommunication. Un des services dont l'exploitation est prévue dans les bandes au voisinage de 2 GHz est le futur système mobile terrestre public de télécommunication (FSMPTPT). La largeur de bande désignée pour ces services est de 230 MHz.

Les FSMPTPT en étant encore au stade de la planification, les chiffres relatifs au taux de pénétration (en termes d'abonnés), aux densités de trafic et aux niveaux de puissance n'ont qu'un caractère préliminaire. La Commission d'études 8 des radiocommunications a établi des hypothèses relativement détaillées pour les niveaux de puissance, les largeurs de bande requises, la densité du trafic, etc. On trouvera dans le Tableau 1 un bref récapitulatif des hypothèses retenues pour les systèmes.

TABLEAU 1

Récapitulatif des hypothèses retenues pour les systèmes

| | Station mobile d'extérieur | Station personnelle d'extérieur | Station personnelle d'intérieur |
|--|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Hauteur d'antenne de station de base (m) | 50 | < 10 | < 3 |
| Densité du trafic en zone urbaine (E/km ²) | 500 (0,25) | 1 500 (1,2) | 20 000 (1,2) |
| Superficie d'une cellule (km ²) | 0,94 | 0,016 | 0,0006 |
| Largeur de bande duplex par canal (kHz) | 25 | 50 | 50 |
| Trafic par cellule (E) | 470 | 24 | 12 |
| Nombre de canaux par cellule | 493 | 34 | 23 |
| Largeur de bande des services vocaux (MHz) | 111 | 27 | 24 |
| Plage de puissance de la station (W) | 1-5 | 0,02-0,05 | 0,003-0,01 |
| Débit de codage des signaux vocaux (kbit/s) | 8 | (16) | (16) |
| Rapport valeur de crête/valeur moyenne du trafic | (3) | 3 | (3) |
| Densité du trafic de pointe par station (E) | 0,1 (0,04) | 0,04 (0,1) | 0,2 (0,1) |
| Taux de pénétration (en termes d'abonnés) (%) | 50 (10) | 80 (20) | (20) |

Dans certains cas, il a été constaté que pour l'évaluation du brouillage moyen, les hypothèses retenues pour les FSMPTPT étaient trop optimistes, en particulier en ce qui concerne la densité du trafic et le taux de pénétration, paramètres pour lesquels on a retenu à la place les valeurs indiquées entre parenthèses. Pour les données FSMPTPT initiales, les valeurs du surcroît de brouillage seraient plus élevées. En l'absence de données disponibles, les valeurs indiquées entre parenthèses ont été retenues pour les calculs.

Seuls les services vocaux ont été pris en considération, mais il est à prévoir que des valeurs très voisines seront obtenues pour les services non vocaux.

Les hypothèses de densité du trafic retenues pour les analyses ont été établies d'après les chiffres communiqués pour l'Europe. La population de l'ensemble des pays du marché commun avoisine actuellement les 323 millions d'habitants, pour une superficie de 2,3 millions de km². Cela représente une densité moyenne de 140 habitants au km², chiffre d'après lequel ont été calculés les brouillages causés aux stations terriennes.

Les hypothèses de densité du trafic pour le scénario de brouillage applicable aux récepteurs d'engins spatiaux peuvent être obtenues de façon analogue. Un engin spatial géostationnaire «voit» une zone semblable à celle représentée à la Fig. 3, qui comptera environ 4 milliards d'habitants d'ici à l'an 2000. L'altitude minimale de l'orbite d'un engin spatial est de 250 km. La Fig. 4 montre les zones «vues» respectivement par des engins spatiaux volant à des altitudes orbitales de 250 et 750 km. La zone de réception de brouillages pour une orbite située à 250 km d'altitude est déjà de 9,6 millions de km². La population vivant dans cette zone est estimée à plus de 600 millions d'habitants. La Fig. 5 montre les zones de réception de brouillages dans le cas d'orbites faiblement inclinées (29° environ), telles que celles qu'utilisent habituellement les navettes spatiales.

L'affaiblissement dû au passage des trajets de transmission à travers différents éléments du milieu ambiant – fenêtres, murs, plafonds, bâtiments et arbres – a été pris en compte pour tous les services FSMPTPT. Des valeurs d'affaiblissement caractéristique de 6,6 dB pour les fenêtres et de 27 dB pour les murs et les plafonds ont été adoptées, étant admis que la plupart des stations

personnelles d'intérieur, mais non pas toutes, subiraient un affaiblissement de leur signal. Il restera un petit pourcentage d'entre elles qui émettront à travers des fenêtres ouvertes sur des balcons, des terrasses ou en d'autres lieux à l'air libre. Pour la présente étude, il a été admis que pour environ 5% d'entre elles, les stations ne subissaient pratiquement aucun affaiblissement de leur signal, 25% d'entre elles en subissant un dû au verre. Le brouillage imputable aux 70% de stations restantes a été jugé négligeable. Un affaiblissement moyen de 10 dB a donc été pris en considération pour les stations personnelles d'intérieur. Les signaux émis par les stations personnelles d'extérieur et les stations mobiles ne subiront un affaiblissement que s'ils traversent des bâtiments et des arbres, ce qui est souvent le cas pour de petits angles d'élévation mais moins fréquent pour des angles plus importants. Etant donné que le brouillage provient essentiellement de stations situées à proximité du point se trouvant à la verticale du satellite, ce qui suppose de grands angles d'élévation, un affaiblissement moyen n'excédant pas 3 dB est à prévoir.

Les brouillages causés par les stations de base n'ont pas été étudiés ici faute de renseignements techniques suffisants. Il va de soi que des valeurs du même ordre de grandeur sont également à prévoir.

4 Critères de protection applicables aux services spatiaux

4.1 Critères de protection applicables aux stations terriennes

Les niveaux de brouillage maximaux dans les récepteurs de station terrienne dépendent du service exploité et sont conformes au Tableau 8b de l'Appendice 7 du RR et à la Recommandation UIT-R SA.363. Ces valeurs et les angles d'élévation minimaux correspondants Θ_r , s'établissent comme suit:

1. Exploitation spatiale: $-184,0 \text{ dB(W/kHz)}$, $\Theta_r = 3^\circ$
2. Recherche spatiale: $-216,0 \text{ dB(W/Hz)}$, $\Theta_r = 5^\circ$

Pour la prise en charge type de missions d'exploitation spatiale et de recherche spatiale, des antennes d'un diamètre de 5,5 à 15 m sont utilisées de manière générale pour des orbites d'altitude inférieure, égale et supérieure à l'altitude de l'OSG. La Fig. 2 montre les caractéristiques de gain d'antenne des stations considérées. Les diagrammes de rayonnement sont établis d'après l'Annexe III de l'Appendice 8 du RR.

4.2 Critères de protection applicables aux récepteurs d'engins spatiaux

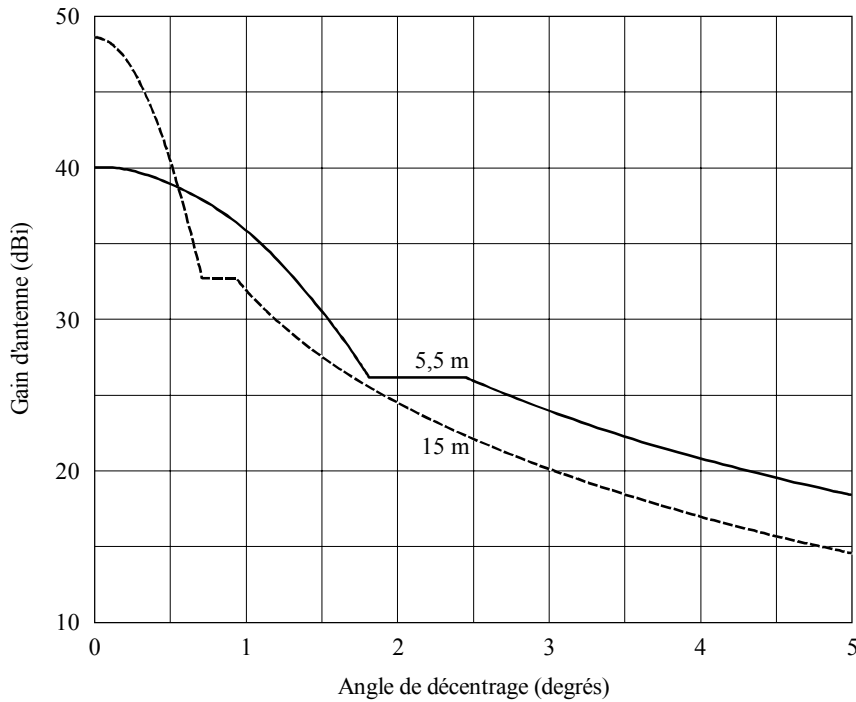
Les températures de bruit types de récepteurs d'engins spatiaux s'établissent autour de 800 K, se traduisant par une densité spectrale de bruit de l'ordre de -200 dB(W/Hz) . Certaines missions de recherche spatiale délicates nécessitent des températures de bruit inférieures de l'ordre de 600 K.

La Recommandation UIT-R SA.609 spécifie que le brouillage ne doit pas dépasser une valeur de -177 dB(W/kHz) aux bornes d'entrée du récepteur pendant plus de 0,1% du temps. Les services fixe, mobile et spatial utilisant cette bande sont censés contribuer chacun pour un tiers au brouillage total, soit une valeur de -182 dB(W/kHz) , équivalant à -212 dB(W/Hz) pour la part de brouillage admissible à laquelle contribuent les services mobiles. Ces valeurs correspondent bien aux critères de protection du § 1.1, 1.2 et 2.2 du *recommande*.

La valeur moyenne de gain d'une antenne quasi équidirective est d'environ 0 dBi, avec des valeurs minimales parfois inférieures à -6 dBi . Une telle antenne est nécessaire pour établir une liaison avec l'engin spatial dans des cas d'urgence ou lorsque l'utilisation d'autres antennes est impossible pour des raisons techniques ou d'exploitation, par exemple pendant la phase de lancement et les premières étapes de la mise sur orbite. Cela vaut aussi pour les satellites de télécommunications. A une valeur de gain d'antenne de 0 dBi correspond donc une valeur de -212 dB(W/Hz) pour le brouillage admissible causé par des stations mobiles à l'entrée de l'antenne.

FIGURE 2

Caractéristiques d'antennes types de stations terriennes



Fréquence = 2,25 GHz
 $G_{min} = -6$ et -10 dBi

D02

La situation est plus critique dans le cas d'une liaison espace-espace utilisant, par exemple, un satellite relais de données dont l'antenne à gain élevé est orientée en direction d'un satellite sur orbite basse. Pour les mêmes hypothèses que précédemment mais avec cette fois un gain d'antenne type de 35 dBi, on obtient un niveau de brouillage admissible de -247 dB(W/Hz) à l'entrée de l'antenne.

La Recommandation UIT-R SA.363 spécifie un rapport de protection porteuse/brouillage de 20 dB pour l'exploitation spatiale. Ces dernières années, de nombreuses agences spatiales ont introduit des techniques de codage des canaux visant à réduire la puissance des émetteurs et par voie de conséquence à réduire également les brouillages causés aux autres systèmes. Deux cas ont été distingués, à savoir les transmissions non codées et les transmissions codées:

- Les transmissions non codées exigent un rapport E_s/N_0 de 9,6 dB pour un taux d'erreur binaire de 1×10^{-5} . L'adjonction d'une marge type de 3 dB permet d'obtenir la valeur voulue de 12,6 dB pour le rapport porteuse/bruit, C/N . Le rapport brouillage/bruit, I/N total est donc de $-7,4$ dB. L'affectation d'un tiers du brouillage total aux services mobiles donne un I_m/N de $-12,4$ dB. Pour une densité de puissance de bruit type de -200 dB(W/Hz), le brouillage admissible est de $-212,4$ dB(W/Hz).
- Les transmissions codées exigent un rapport E_s/N_0 de 1,5 dB pour un taux d'erreur binaire de 1×10^{-5} avec un codage convolutionnel classique des canaux. L'adjonction d'une marge type de 3 dB permet d'obtenir pour le C/N la valeur requise de 4,5 dB. I/N est donc de $-15,5$ dB. L'affectation d'un tiers du brouillage total aux services mobiles donne un I_m/N de $-20,5$ dB. Pour une densité de puissance de bruit de -200 dB(W/Hz), le brouillage admissible est de $-217,5$ dB(W/Hz) c'est-à-dire inférieur de 5 dB à la valeur de protection de la Recommandation UIT-R SA.609.

Bien que les transmissions codées exigent des niveaux de protection plus élevés, on a adopté pour les besoins de la présente étude un critère de protection de -212 dB(W/Hz), conforme aux valeurs spécifiées dans les Recommandations UIT-R SA.609 et UIT-R SA.363.

5 Etude des brouillages

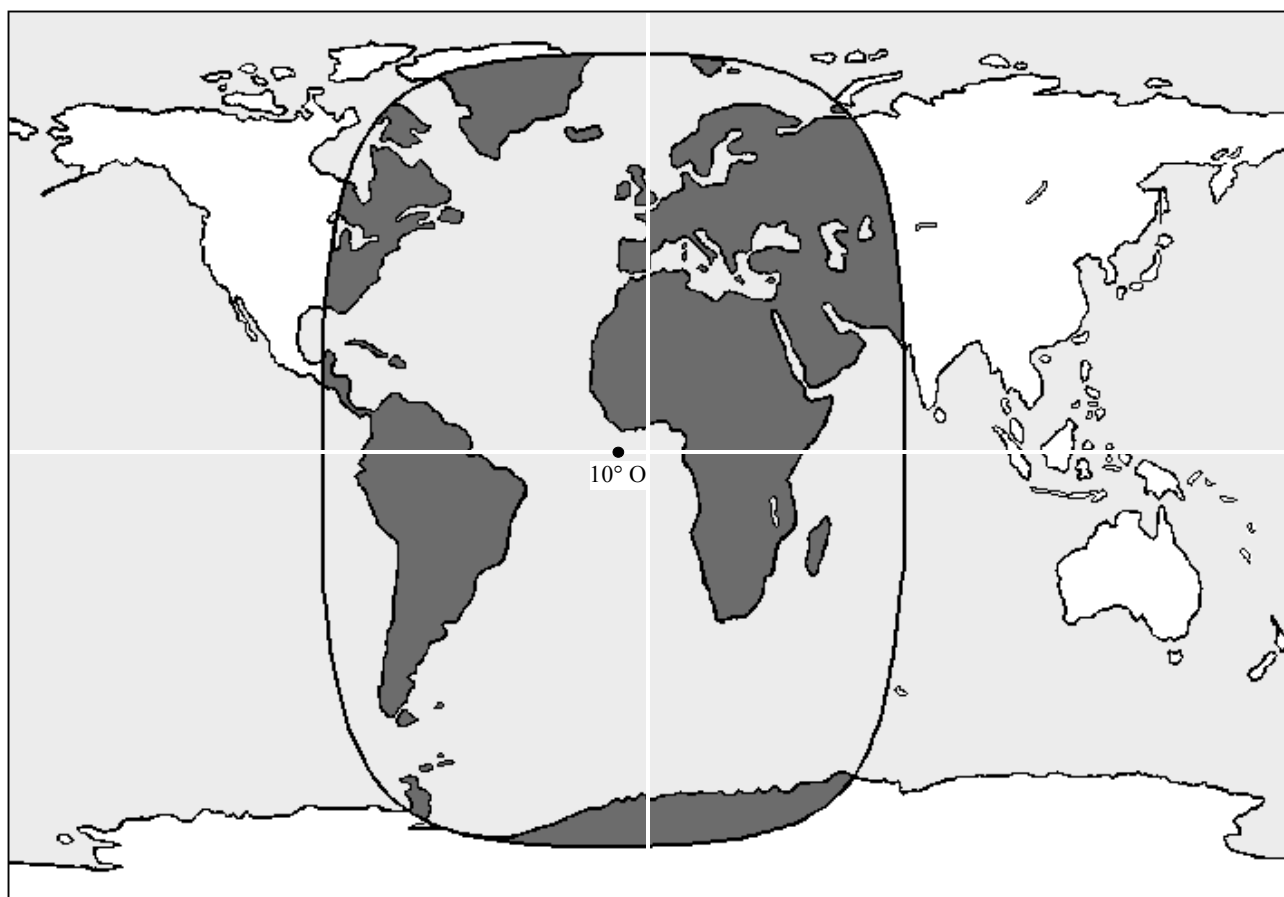
5.1 Liaison Terre-espace (2025-2 110 MHz)

5.1.1 Brouillages causés à l'engin spatial

Les liaisons Terre-espace considérées dans la présente étude intéressent principalement des altitudes orbitales de 250 à 36 000 km, étant donné que plus de 90% des engins spatiaux en service gravitent à l'altitude de l'OSG ou à des altitudes inférieures.

La Fig. 3 montre la zone en provenance de laquelle un engin spatial géostationnaire recevra des signaux sur une antenne quasi équidirective. La position de l'engin spatial, choisie arbitrairement, est de 10° O. On estime que, dans le cas le plus défavorable, l'engin spatial «voit» une zone où se trouvent plus de 70% de tous les terminaux mobiles sur Terre.

FIGURE 3
Zone de réception de brouillages pour des satellites géostationnaires

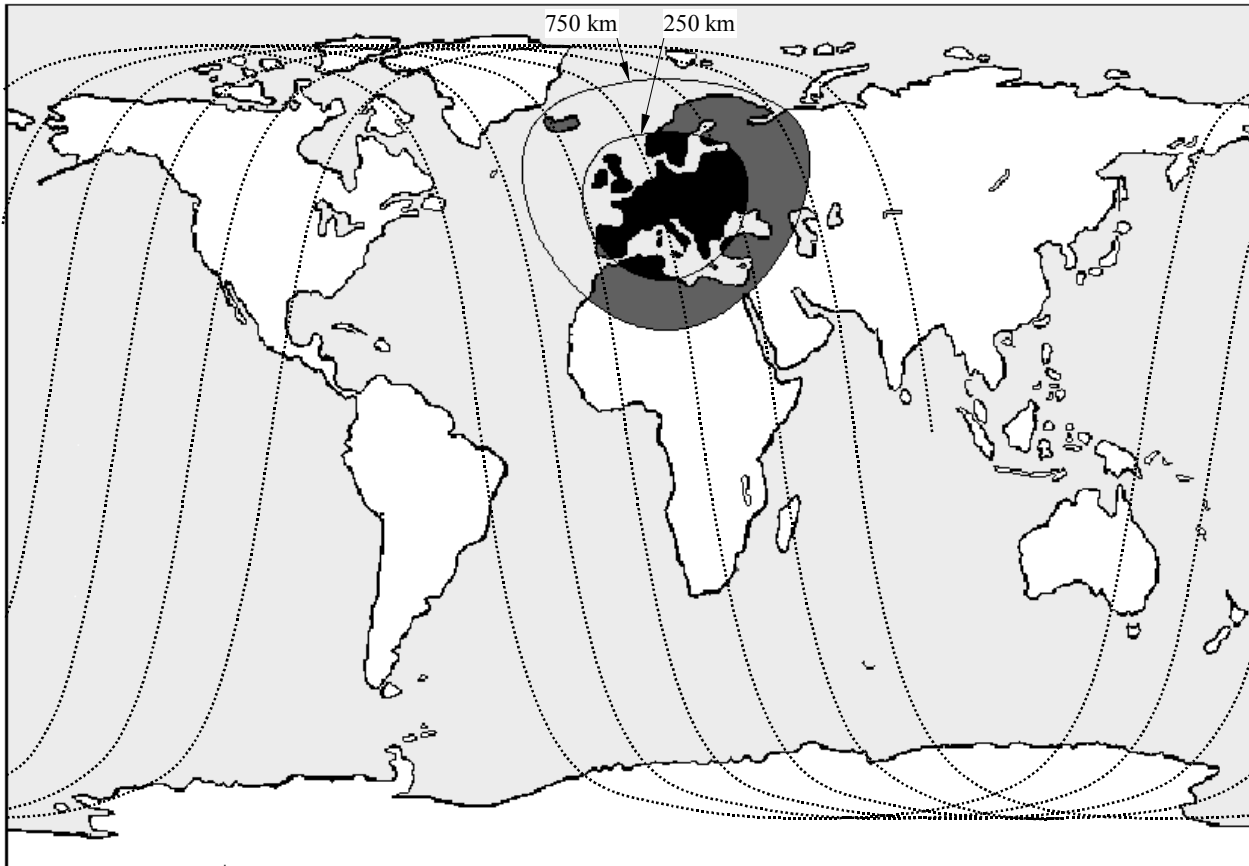


D03

La Fig. 4 montre la zone en provenance de laquelle un satellite sur orbite basse à une altitude de 250 à 750 km recevra des signaux. On a admis dans le cas présent que l'engin spatial était positionné au-dessus du centre de l'Europe. La «fenêtre» ainsi obtenue se déplacera à la surface du sol suivant les tracés indiqués en ligne pointillée. On observe que l'engin spatial «voit» une zone très étendue offrant un potentiel de plusieurs millions de stations mobiles d'émission.

La Fig. 5 montre la zone de réception de brouillages pour un engin spatial de type navette avec une inclinaison typique de 29°.

FIGURE 4
 Zone de réception de brouillages pour des engins spatiaux
 sur orbite basse ($i = 98^\circ$)



D04

La zone de brouillage A_i est déterminée par la formule suivante:

$$A_i = \frac{2\pi R^2 h}{R + h}$$

où:

R : rayon de la Terre (6378 km)

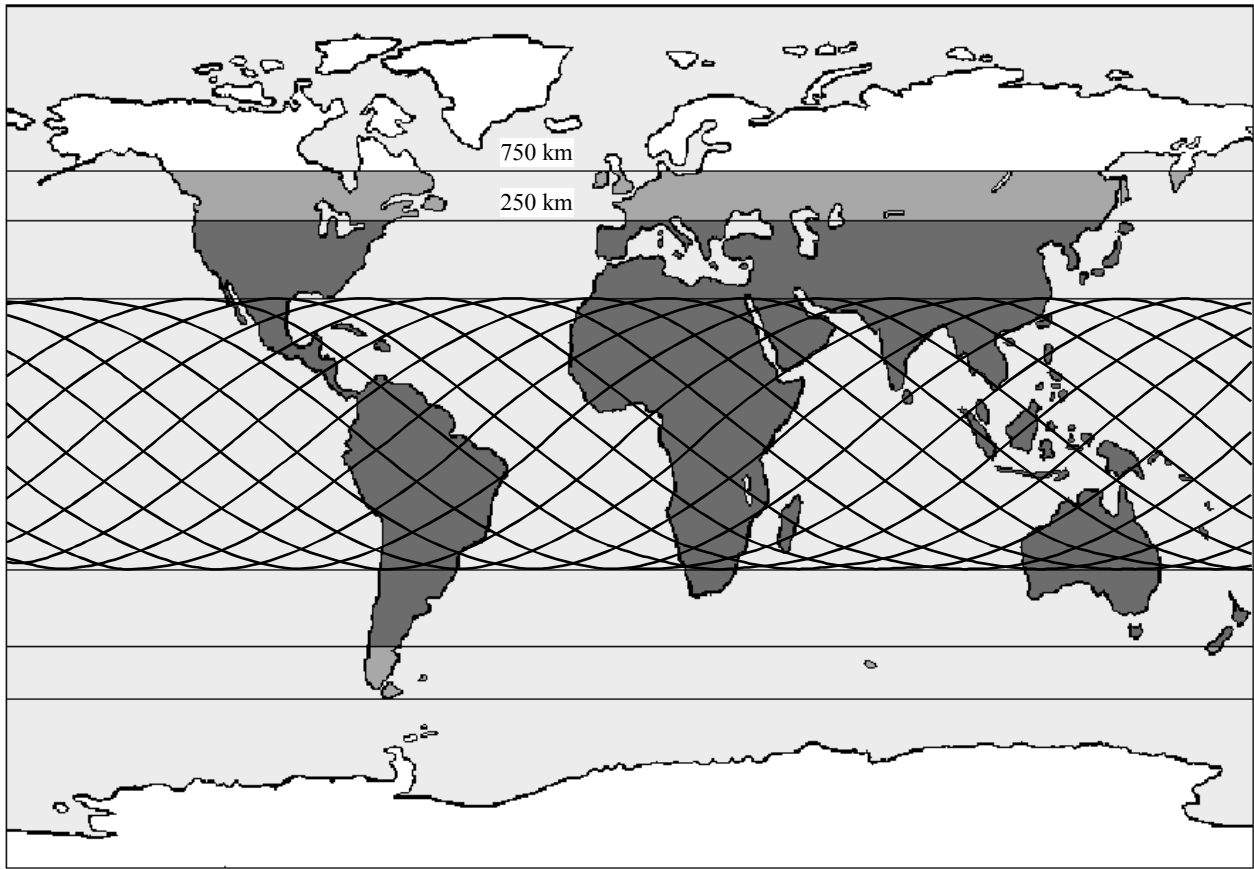
h : altitude de l'orbite (250 à 36000 km).

A une altitude de 250 km, l'engin spatial recevra des brouillages en provenance d'une zone de 9,6 millions de km². Ce nombre passe à 27 millions de km² pour une altitude orbitale de 750 km. La superficie maximale «vue» par un satellite géostationnaire est de 217 millions de km².

Le niveau de densité spectrale de brouillage P_i reçu par une antenne d'engin spatial en provenance d'un seul émetteur mobile est calculé comme suit:

$$P_i = \frac{E_i c^2}{B_i (4\pi x f)^2}$$

FIGURE 5
 Zone de réception de brouillages pour des engins spatiaux
 sur orbite basse ($i = 29^\circ$)



Le brouillage cumulatif $P_{\Sigma i}$ en provenance de toutes les stations mobiles dans la zone de brouillage est donné par la formule:

$$P_{\Sigma i} = \int_{x=h}^{d_m} \frac{n_a P_i B_i h^2 dA(x)}{B_m A_i x^2} dx = \frac{n_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m A_i} \int_{x=h}^{d_m} \frac{dA(x)}{x^2} dx$$

$$A(x) = \frac{\pi R (x^2 - h^2)}{R + h}$$

$$\frac{dA(x)}{dx} = \frac{2\pi R}{R + h} x$$

$$d_m = \sqrt{(R + h)^2 - R^2}$$

$$P_{\Sigma i} = \frac{n_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m R h} [\ln(d_m) - \ln(h)]$$

où:

- P_i : densité de puissance du brouilleur
- E_i : p.i.r.e. du brouilleur
- x : distance par rapport au brouilleur

- f : fréquence d'émission
 n_a : nombre de stations mobiles actives
 c : vitesse de la lumière
 B_i : largeur de bande d'une station mobile
 B_m : largeur de bande du service mobile
 d_m : distance maximale par rapport au brouilleur.

Pour simplifier, on s'est placé dans l'hypothèse d'une répartition égale des terminaux actifs dans la largeur de bande disponible et dans la zone de brouillage. Le Tableau 2 recense de manière détaillée les hypothèses retenues et les niveaux de brouillage qui en résultent. Il faut conclure à l'impossibilité d'une utilisation en partage de ces liaisons, étant donné que les niveaux de brouillage sont bien supérieurs aux niveaux admissibles.

5.1.2 Brouillages causés aux stations mobiles

Les stations mobiles qui évoluent dans un certain périmètre d'une station terrienne d'émission seront exposées aux brouillages préjudiciables causés par cette station. Les niveaux maximaux de p.i.r.e. pour des liaisons avec des satellites proches de la Terre sont généralement de 66 à 78 dBW.

Compte tenu des valeurs de gain d'antenne dans la direction horizontale (voir la Fig. 2) et du fait qu'une antenne rayonne en principe dans toutes les directions, la valeur de gain minimale spécifiée pour l'arrière de l'antenne étant de -10 dBi (-6 dBi pour une antenne de 5,5 m), les niveaux de p.i.r.e. ci-dessous sont à prévoir autour de l'antenne dans la direction horizontale. Les niveaux de densité de p.i.r.e. dépendent étroitement du débit de données à l'émission. Dans le service d'exploitation spatiale, le débit de données maximal est généralement de quelques kbit/s, alors que pour le service de recherche spatiale, la valeur correspondante à prendre en considération s'échelonne d'au moins 1 à 100 kbit/s.

| Diamètre de l'antenne (m) | Gamme des niveaux de p.i.r.e. (dBW) | Gamme des niveaux de densité de p.i.r.e. (dB(W/4 kHz)) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| 5,5 (3°) | 20-50 | 14-47 |
| 15 (3°) | 19-50 | 13-47 |

Les niveaux de protection des stations FSMTPT étant inconnus, le système sera équipé d'un limiteur d'autobrouillage mais pas d'un limiteur de bruit. Dans la double hypothèse d'un niveau de brouillage acceptable d'environ -150 dB(W/4 kHz) et d'un affaiblissement supplémentaire dû à la diffraction des signaux, une zone de protection de 100 km au maximum peut être nécessaire pour permettre un fonctionnement satisfaisant des stations mobiles.

5.2 Liaison espace-Terre (2 200-2 290 MHz)

Pour ces liaisons, une distinction entre les divers services spatiaux doit être établie. Le plus critique d'entre eux est le service de recherche spatiale, mais les résultats obtenus pour les services d'exploration spatiale et d'exploration de la Terre par satellite sont en fait très voisins.

Il est difficile d'établir des hypothèses sur la répartition des émetteurs mobiles autour d'une station terrienne, car la répartition de ces émetteurs dépend en grande partie de l'emplacement de la station. Une répartition moyenne calculée d'après le nombre d'habitants dans les pays du marché commun européen a été admise. La densité de population moyenne, calculée pour 323 millions d'habitants sur un territoire de 2,3 millions de km², est de 140 habitants au km². La densité moyenne de trafic correspondante est de 2,8 E/km² pour les stations personnelles et de 0,56 E/km² pour les stations mobiles.

TABLEAU 2
Liaisons Terre-espace (2 025-2 110 MHz)

| | Station personnelle d'intérieur | | Station personnelle d'extérieur | | Station mobile | |
|---|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|----------------|--------|
| | | | | | | |
| Altitude de l'orbite de l'engin spatial (km) | 250 | 36 000 | 250 | 36 000 | 250 | 36 000 |
| p.i.r.e. d'une station FSMPTPT (W) | 0,003 | 0,003 | 0,020 | 0,020 | 1,00 | 1,00 |
| Largeur de bande de canal de communications vocales (kHz) | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 25,0 | 25,0 |
| Densité de p.i.r.e. d'une station FSMPTPT (dB(W/Hz)) | -72,2 | -72,2 | -64,0 | -64,0 | -44,0 | -44,0 |
| Affaiblissement (dispersion) dans l'espace (dB) | 146,7 | 189,8 | 146,7 | 189,8 | 146,7 | 189,8 |
| Brouillage d'une station (dB(W/Hz)) | -218,9 | -262,1 | -210,7 | -253,8 | -190,7 | -233,8 |
| Densité de brouillage acceptable (dB(W/Hz)) | -212,0 | -212,0 | -212,0 | -212,0 | -212,0 | -212,0 |
| Surcroît de brouillage d'une station (dB) | -6,9 | -50,1 | 1,3 | -41,8 | 21,3 | -21,8 |
| Zone de brouillage «vue» par l'engin spatial (million/km ²) | 9,64 | 217,13 | 9,64 | 217,13 | 9,64 | 217,13 |
| Nombre total d'habitants dans la zone (millions) | 600 | 4 000 | 600 | 4 000 | 600 | 4 000 |
| Pourcentage d'abonnés au service (%) | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 10,0 | 10,0 |
| Nombre moyen de stations au total par km ² | 12,4 | 3,7 | 12,4 | 3,7 | 6,2 | 1,8 |
| Pourcentage de stations actives dans la zone (%) | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 4,0 | 4,0 |
| Nombre de stations actives simultanément dans la zone (millions) | 12,0 | 80,0 | 12,0 | 80,0 | 2,4 | 16,0 |
| Nombre moyen de stations actives par km ² (E/km ²) | 1,24 | 0,37 | 1,24 | 0,37 | 0,25 | 0,07 |
| Largeur de bande de service prévue (canaux vocaux) (MHz) | 24 | 24 | 27 | 27 | 111 | 111 |
| Nombre de stations actives par canal | 25 000 | 166 667 | 22 222 | 148 148 | 541 | 3 604 |
| Affaiblissement dû au milieu ambiant (bâtiments, arbres) (dB) | 10,0 | 10,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Brouillage cumulatif de toutes les stations actives (dB(W/Hz)) | -196 | -221 | -181 | -206 | -177 | -202 |
| Valeur moyenne du surcroît de brouillage (dB) | 16,0 | -8,5 | 30,7 | 6,2 | 34,6 | 10,1 |
| Valeur d'accroissement du brouillage pendant les périodes d'activité maximale (dB) | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Valeur d'accroissement du brouillage pour des niveaux de puissance plus élevés (dB) | 5,2 | 5,2 | 4,0 | 4,0 | 7,0 | 7,0 |
| Valeur d'accroissement du brouillage au-dessus des zones à forte densité de population (dB) | 5,3 | 0,0 | 5,3 | 0,0 | 5,3 | 0,0 |
| Valeur du surcroît de brouillage dans le cas le plus défavorable (dB) | 31,5 | 1,7 | 45,0 | 15,2 | 51,8 | 22,1 |

Le brouillage est intégré dans un rayon de 1 à 10 km autour de la station pour laquelle une liaison en visibilité directe peut être admise. Pour la plupart des emplacements où sont installées les stations, on ne peut exclure le passage de stations mobiles dans un rayon de moins de 1 km de ces stations. Les terminaux mobiles plus éloignés sont naturellement à l'origine de nouveaux brouillages dont il n'est pas tenu compte ici pour simplifier. La valeur de gain d'antenne, qui varie en fonction de l'angle d'azimut, a été intégrée sur 360° afin d'obtenir une valeur moyenne.

Le brouillage cumulatif est déterminé par la formule suivante:

$$P_{\Sigma i} = \int_{x=d_1}^{d_2} \frac{md_a P_i B_i dA_{(x)}}{B_m} dx = \frac{md_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m} \int_{x=d_1}^{d_2} \frac{dA_{(x)}}{x^2} dx$$

$$A_{(x)} = \pi x^2$$

$$\frac{dA_{(x)}}{dx} = 2\pi x$$

$$P_{\Sigma i} = \frac{md_a E_i c^2}{8\pi f^2 B_m} [\ln(d_2) - \ln(d_1)]$$

où:

md_a : densité moyenne de stations mobiles

d_1 : rayon minimal autour de la station

d_2 : rayon maximal autour de la station.

Les Tableaux 3a et 3b donnent le détail des résultats pour les services spatiaux considérés. Le cas le plus défavorable résulte d'une station mobile émettant dans la direction du faisceau principal. On a admis par hypothèse qu'une seule station émettant à une distance de 10 km était représentative, bien qu'une distance beaucoup plus courte soit possible. La principale conclusion à tirer est que même pour une valeur moyenne de gain d'antenne de quelques dBi tout autour de l'antenne et pour la méthode simplifiée (défavorable, dans le cas des services spatiaux) de calcul du brouillage, les niveaux de brouillage dépassent déjà les niveaux acceptables dans des proportions telles que le partage devient impossible.

5.3 Liaison espace-espace (2 025-2 110 MHz)

Le cas le plus critique dans cette catégorie est la liaison entre un satellite géostationnaire – un satellite relais de données, par exemple – et un satellite sur orbite basse, gravitant généralement à une altitude de 250 à 1 000 km.

Une telle liaison sera caractéristique, par exemple, d'une navette spatiale habitée gravitant sur une orbite d'une altitude d'environ 400 km. Il est impératif que cet engin spatial soit muni d'une antenne équidirective qui permette d'assurer en toute sécurité l'exécution des commandes et l'établissement des communications pendant chaque phase du vol et en particulier dans les situations d'urgence.

En raison de la limitation de la puissance surfacique sur Terre, on impose également une limite pour la p.i.r.e. que le satellite relais de données peut rayonner en direction de la Terre, c'est-à-dire en direction du satellite gravitant sur orbite basse, d'où la stricte étroitesse des marges de liaison. Les brouillages, même pour des niveaux de faible intensité, sont extrêmement critiques.

Les niveaux de brouillage calculés sont si élevés que les liaisons de données ou de communication à destination d'un engin spatial sur orbite basse s'en trouvent totalement occultées. Les restrictions imposées en matière de puissance surfacique interdisent tout accroissement de la p.i.r.e. du satellite géostationnaire d'émission. Le partage avec des stations mobiles terrestres est donc impossible.

Le Tableau 4 donne le détail des résultats.

TABLEAU 3
Liaisons espace-Terre (2 200-2 290 MHz)

| Tableau 3a: Service d'exploitation spatiale | Station personnelle d'intérieur | | Station personnelle d'extérieur | | Station mobile | |
|--|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|----------------|--------|
| | | | | | | |
| Valeur moyenne de gain horizontal de la station terrienne (5,5 m) (dBi) | | 7,5 | | 7,5 | | 7,5 |
| Valeur maximale de gain horizontal de la station terrienne (3°) (dBi) | 24,0 | | 24,0 | | 24,0 | |
| Nombre de stations actives par km ² (E/km ²) | | 2,800 | | 2,800 | | 0,560 |
| Densité de stations actives par canal au km ² | | 0,0058 | | 0,0052 | | 0,0001 |
| p.i.r.e. d'une station FSMTPT (W) | 0,003 | 0,003 | 0,020 | 0,020 | 1,000 | 1,000 |
| Densité de p.i.r.e. d'une station FSMTPT (dB(W/Hz)) | -72,2 | -72,2 | -64,0 | -64,0 | -44,0 | -44,0 |
| Densité de brouillage acceptable à l'entrée du récepteur (dB(W/kHz)) | -184,0 | -184,0 | -184,0 | -184,0 | -184,0 | -184,0 |
| Densité de brouillage acceptable à l'entrée de l'antenne (dB(W/kHz)) | -208,0 | -191,5 | -208,0 | -191,5 | -208,0 | -191,5 |
| Valeur de brouillage des stations entre 1 et 10 km (dB(W/kHz)) | | -152,4 | | -144,7 | | -140,9 |
| Valeur de brouillage d'une station à une distance de 10 km (satellite sur orbite basse)(dB(W/kHz)) | -161,5 | | -153,3 | | -133,3 | |
| Valeur du surcroît de brouillage (dB) | 46,5 | 39,1 | 54,7 | 46,8 | 74,7 | 50,6 |

| Tableau 3b: Recherche spatiale | Station personnelle d'intérieur | | Station personnelle d'extérieur | | Station mobile | |
|--|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|----------------|--------|
| | | | | | | |
| Valeur moyenne de gain horizontal de la station terrienne (15 m) (dBi) | | 2,4 | | 2,4 | | 2,4 |
| Valeur maximale de gain horizontal de la station terrienne (5°) (dBi) | 14,5 | | 14,5 | | 14,5 | |
| Nombre de stations actives par km ² (E/km ²) | | 2,800 | | 2,800 | | 0,560 |
| Densité de stations actives par canal au km ² | | 0,0058 | | 0,0052 | | 0,0001 |
| p.i.r.e. d'une station FSMTPT (W) | 0,003 | 0,003 | 0,020 | 0,020 | 1,000 | 1,000 |
| Densité de p.i.r.e. d'une station FSMTPT (dB(W/Hz)) | -72,2 | -72,2 | -64,0 | -64,0 | -44,0 | -44,0 |
| Densité de brouillage acceptable à l'entrée du récepteur (dB(W/Hz)) | -220,0 | -220,0 | -220,0 | -220,0 | -220,0 | -220,0 |
| Densité de brouillage acceptable à l'entrée de l'antenne (dB(W/Hz)) | -234,5 | -222,4 | -234,5 | -222,4 | -234,5 | -222,4 |
| Valeur de brouillage des stations entre 1 et 10 km (dB(W/Hz)) | | -182,4 | | -174,7 | | -170,9 |
| Valeur maximale de brouillage d'une station à une distance de 10 km (dB(W/Hz)) | -191,5 | | -183,3 | | -163,3 | |
| Valeur du surcroît de brouillage (dB) | 43,0 | 40,0 | 51,2 | 47,7 | 71,2 | 51,5 |

TABLEAU 4
Liaisons espace-espace (2 025-2 110 MHz)

| | Station personnelle d'intérieur | | Station personnelle d'extérieur | | Station mobile | |
|---|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|----------------|--------|
| | 250 | 750 | 250 | 750 | 250 | 750 |
| Altitude de l'orbite de l'engin spatial (km) | 250 | 750 | 250 | 750 | 250 | 750 |
| p.i.r.e. d'une station FSMPT (W) | 0,003 | 0,003 | 0,020 | 0,020 | 1,00 | 1,00 |
| Largeur de bande de canal de communications vocales (kHz) | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 25,0 | 25,0 |
| Densité de p.i.r.e. d'une station FSMPT (dB(W/Hz)) | -72,2 | -72,2 | -64,0 | -64,0 | -44,0 | -44,0 |
| Affaiblissement (dispersion) dans l'espace (dB) | 146,7 | 156,2 | 146,7 | 156,2 | 146,7 | 156,2 |
| Brouillage d'une station (dB(W/Hz)) | -218,9 | -228,4 | -210,7 | -220,2 | -190,7 | -200,2 |
| Densité de brouillage acceptable (dB(W/Hz)) | -212,0 | -212,0 | -212,0 | -212,0 | -212,0 | -212,0 |
| Surcroît de brouillage d'une station (dB) | -6,9 | -16,4 | 1,3 | -8,2 | 21,3 | 11,8 |
| Zone de brouillage «vue» par l'engin spatial (million/km ²) | 9,64 | 26,89 | 9,64 | 26,89 | 9,64 | 26,89 |
| Nombre total d'habitants dans la zone (millions) | 600 | 800 | 600 | 800 | 600 | 800 |
| Pourcentage d'abonnés au service (%) | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 10,0 | 10,0 |
| Nombre moyen de stations au total par km ² | 12,4 | 5,9 | 12,4 | 5,9 | 6,2 | 3,0 |
| Pourcentage de stations actives dans la zone (%) | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 4,0 | 4,0 |
| Nombre de stations actives simultanément dans la zone (millions) | 12,0 | 16,0 | 12,0 | 16,0 | 2,4 | 3,2 |
| Nombre moyen de stations actives par km ² (E/km ²) | 1,24 | 0,59 | 1,24 | 0,59 | 0,25 | 0,12 |
| Largeur de bande de service prévue (canaux vocaux) (MHz) | 24 | 24 | 27 | 27 | 111 | 111 |
| Nombre de stations actives par canal | 25 000 | 33 333 | 22 222 | 29 630 | 541 | 721 |
| Affaiblissement dû au milieu ambiant (bâtiments, arbres) (dB) | 10,0 | 10,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Brouillage cumulatif causé par toutes les stations actives (dB(W/Hz)) | -196,0 | -200,9 | -181,3 | -186,2 | -177,4 | -182,3 |
| Valeur moyenne du surcroît de brouillage (dB) | 16,0 | 11,1 | 30,7 | 25,8 | 34,6 | 29,7 |
| Valeur d'accroissement du brouillage pendant les périodes d'activité maximale (dB) | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Valeur d'accroissement du brouillage pour des niveaux de puissance plus élevés (dB) | 5,2 | 5,2 | 4,0 | 4,0 | 7,0 | 7,0 |
| Valeur d'accroissement du brouillage au-dessus des zones à forte densité de population (dB) | 5,3 | 3,0 | 5,3 | 3,0 | 5,3 | 3,0 |
| Valeur du surcroît de brouillage dans le cas le plus défavorable (dB) | 31,5 | 24,3 | 45,0 | 37,8 | 51,8 | 44,6 |

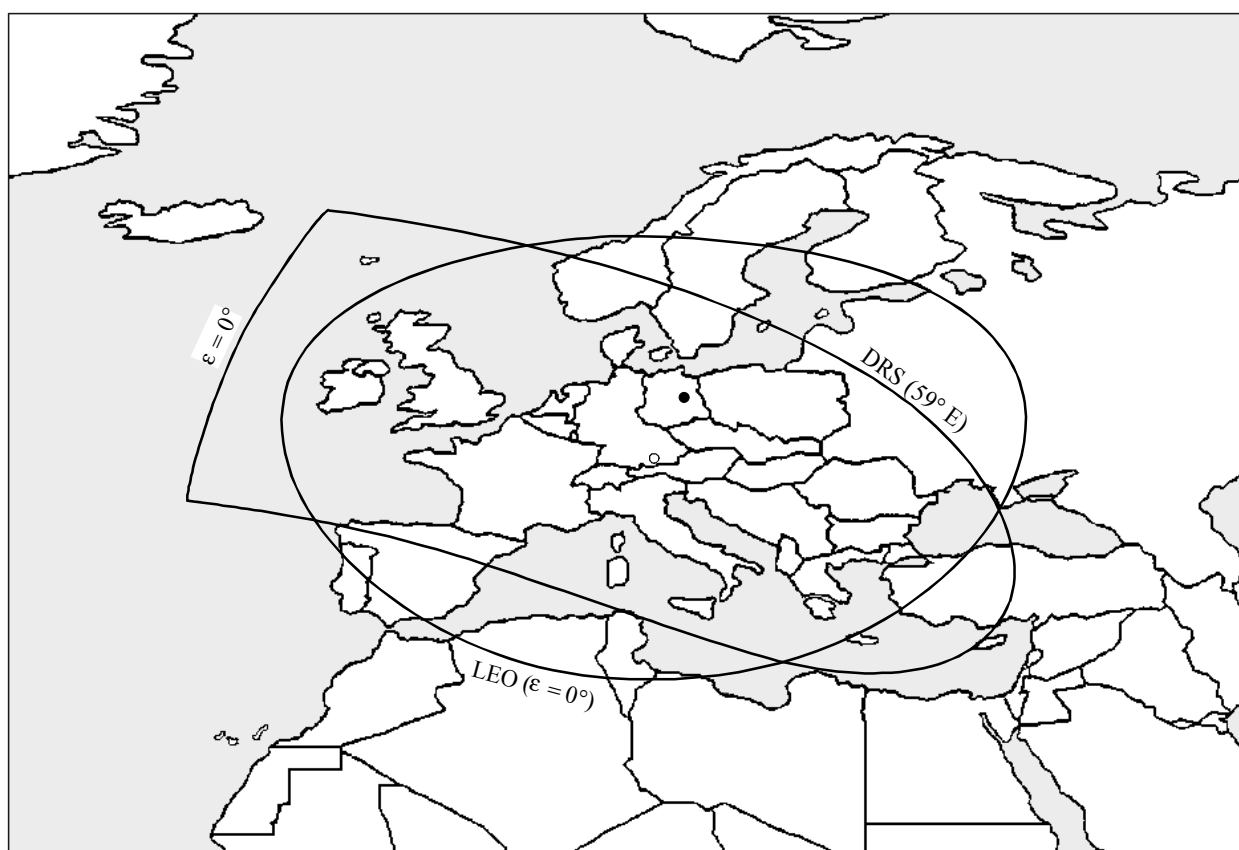
5.4 Liaison espace-espace (2 200-2 290 MHz)

Cette bande de fréquences est utilisée pour les liaisons de données en provenance de satellites sur orbite basse à destination de satellites relais de données géostationnaires et pour les communications à courte distance entre satellites sur orbite basse et aussi, éventuellement, entre astronautes. Les altitudes orbitales à prendre en considération s'échelonnent donc de 250 à 36 000 km.

En principe, les hypothèses applicables ici sont les mêmes que précédemment sauf que le satellite géostationnaire utilise des antennes à gain élevé pour les liaisons à destination des engins spatiaux sur orbite basse. Il en résulte de très faibles niveaux de brouillages acceptables à l'entrée de l'antenne. L'ouverture du faisceau de celle-ci étant généralement de quelques degrés, la réception de brouillages en provenance d'une zone un peu plus petite que pour l'orbite située à 250 km d'altitude est possible. La Fig. 6 donne un exemple représentatif de la zone en provenance de laquelle des brouillages seront reçus par un satellite relais de données poursuivant un engin spatial sur orbite basse.

FIGURE 6

Couverture d'une antenne de satellite relais de données (DRS)
et d'un engin spatial sur orbite basse (LEO) à 250 km d'altitude



D06

Le Tableau 5 donne le détail des résultats. Dans ce cas également, le partage est malheureusement impossible.

5.5 Scénarios correspondant au cas le plus défavorable pour toutes les liaisons

Les hypothèses retenues pour les études de brouillage ci-dessus sont principalement les suivantes: répartition moyenne des stations mobiles dans la zone de brouillage, activité moyenne, niveaux de puissance minimaux pour les stations FSMTPT et occupation identique de tous les canaux disponibles. Les valeurs de surcroît de brouillage qui en résultent s'établissent donc en moyenne dans la partie inférieure de la gamme.

TABLEAU 5

Liaisons espace-espace (2 200-2 290 MHz)

| | Station personnelle d'intérieur | | Station personnelle d'extérieur | | Station mobile | |
|---|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|----------------|--------|
| | | | | | | |
| Altitude de l'orbite de l'engin spatial (km) | 250 | 36 000 | 250 | 36 000 | 250 | 36 000 |
| p.i.r.e. d'une station FSMTPT (W) | 0,003 | 0,003 | 0,020 | 0,020 | 1,000 | 1,000 |
| Largeur de bande de canal de communications vocales (kHz) | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 25,0 | 25,0 |
| Densité de p.i.r.e. d'une station FSMTPT (dB(W/Hz)) | -72,2 | -72,2 | -64,0 | -64,0 | -44,0 | -44,0 |
| Affaiblissement (dispersion) dans l'espace (dB) | 146,7 | 189,8 | 146,7 | 189,8 | 146,7 | 189,8 |
| Brouillage d'une station (dB(W/Hz)) | -218,9 | -262,1 | -210,7 | -253,8 | -190,7 | -233,8 |
| Densité de brouillage acceptable (dB(W/Hz)) | -212,0 | -247,0 | -212,0 | -247,0 | -212,0 | -247,0 |
| Surcroît de brouillage d'une station (dB) | -6,9 | -15,1 | 1,3 | -6,8 | 21,3 | 13,2 |
| Zone de brouillage «vue» par l'engin spatial (millions/km ²) | 9,64 | 8,00 | 9,64 | 8,00 | 9,64 | 8,00 |
| Nombre total d'habitants dans la zone (millions) | 600 | 500 | 600 | 500 | 600 | 500 |
| Pourcentage d'abonnés au service (%) | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 10,0 | 10,0 |
| Nombre moyen de stations au total par km ² | 62,2 | 62,5 | 62,2 | 62,5 | 62,2 | 62,5 |
| Pourcentage de stations actives dans la zone (%) | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 4,0 | 4,0 |
| Nombre de stations actives simultanément dans la zone (millions) | 12,0 | 10,0 | 12,0 | 10,0 | 2,4 | 2,0 |
| Nombre moyen de stations actives par km ² (E/km ²) | 1,24 | 1,25 | 1,24 | 1,25 | 0,25 | 0,25 |
| Largeur de bande de service prévue (canaux vocaux) (MHz) | 24 | 24 | 27 | 27 | 111 | 111 |
| Nombre de stations actives par canal | 25 000 | 20 833 | 22 222 | 18 519 | 541 | 450 |
| Affaiblissement dû au milieu ambiant (bâtiments, arbres) (dB) | 10,0 | 10,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Brouillage cumulatif causé par toutes les stations actives (dB(W/Hz)) | -196,0 | -218,9 | -181,3 | -211,1 | -177,4 | -207,3 |
| Valeur moyenne du surcroît de brouillage (dB) | 16,0 | 27,2 | 30,7 | 34,9 | 34,6 | 38,8 |
| Valeur d'accroissement du brouillage pendant les périodes d'activité maximale (dB) | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Valeur d'accroissement du brouillage pour des niveaux de puissance plus élevés (dB) | 5,2 | 5,2 | 4,0 | 4,0 | 7,0 | 7,0 |
| Valeur d'accroissement du brouillage au-dessus des zones à forte densité de population (dB) | 5,3 | 0,0 | 5,3 | 0,0 | 5,3 | 0,0 |
| Valeur du surcroît de brouillage dans le cas le plus défavorable (dB) | 31,5 | 37,4 | 45,0 | 43,9 | 51,8 | 50,8 |

Au passage de l'engin spatial au-dessus de grandes villes ou de zones d'Europe très peuplées, on constatera un accroissement sensible du brouillage cumulatif du fait de la plus courte distance d'un grand nombre de stations mobiles par rapport à l'engin spatial. Pour tenir compte des vastes zones urbaines et suburbaines, on a admis par hypothèse que 20% de toutes les stations mobiles «vues» par l'engin spatial sont à proximité du point se trouvant à la verticale du satellite. Un tel pourcentage peut facilement être atteint au-dessus de grandes villes comme Paris et Londres, avec des densités de trafic pouvant atteindre 20 000 E/km² de surface plancher. Cela se traduit par un accroissement du brouillage de 3 dB pour une orbite de 750 km d'altitude et de 5 dB pour une orbite de 250 km d'altitude. Pour les orbites des satellites géostationnaires, on s'est placé dans l'hypothèse d'un accroissement nul en raison de la faible probabilité de trouver une très forte concentration de stations mobiles au voisinage de l'équateur.

On constatera aussi un accroissement du brouillage aux périodes d'activité maximale. Pour la densité du trafic, un accroissement maximal par un facteur de 3 peut être admis. Il en résulte un accroissement potentiel du brouillage de 4 à 7 dB. Un brouillage plus élevé peut aussi s'expliquer par une occupation inégale des canaux; mais ce motif étant difficile à apprécier, il n'a pas été retenu dans la présente étude.

Pour les liaisons Terre-espace et les deux types de liaisons espace-espace, on peut conclure à la possibilité d'un brouillage, dans le cas le plus défavorable, de 9 à 16 dB supérieur à la valeur moyenne.

Pour les liaisons espace-Terre, la situation est légèrement différente. Le cas le plus défavorable correspondrait à une station mobile émettant au voisinage de la station proche de la direction du faisceau principal. A supposer que la distance entre la station mobile et la station terrienne soit de 10 km, le niveau de brouillage correspondant dépasserait de 43 à 75 dB les niveaux de protection spécifiés.

6 Conclusions

On trouvera dans le Tableau 6 un bref état récapitulatif des valeurs de surcroît de brouillage pour toutes les liaisons étudiées. La valeur la plus faible est calculée d'après la valeur moyenne du surcroît de brouillage. La valeur la plus élevée tient compte des cas les plus défavorables: densités accrues de stations mobiles dans les zones très peuplées, limites supérieures de la puissance de fonctionnement spécifiée et périodes de forte activité des communications. L'inégalité d'occupation des canaux, qui constitue pourtant une autre source d'accroissement des brouillages, n'a pas été prise en considération.

TABLEAU 6

Etat récapitulatif des brouillages pour toutes les liaisons et toutes les stations mobiles considérées

| Surcroît de brouillage (dB) | Station personnelle d'intérieur | Station personnelle d'extérieur | Station mobile |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Terre-espace (2 025-2 110 MHz) | 16-32 | 31-45 | 35-52 |
| Espace-Terre (2 200-2 290 MHz) | 39-47 | 47-55 | 51-75 |
| Espace-espace (2 025-2 110 MHz) | 16-32 | 31-45 | 35-52 |
| Espace-espace (2 200-2 290 MHz) | 27-37 | 35-45 | 39-52 |

Nous avons présenté une étude des brouillages entre des systèmes mobiles terrestres de type FSMTPT et les services d'exploitation spatiale, de recherche spatiale et d'exploration de la Terre. Pour tous les types de liaisons examinés dans la présente Recommandation, le partage avec ces types ou des types analogues de systèmes mobiles à forte densité de stations mobiles s'est révélé impossible, les niveaux de brouillages entraînés étant bien supérieurs aux niveaux acceptables spécifiés dans le RR et dans les Recommandations UIT-R.

Annexe 2

Résumé des études des caractéristiques des systèmes mobiles qui facilite leur compatibilité radioélectrique avec les services scientifiques spatiaux

1 Introduction

La présente Annexe résume les résultats des études relatives aux caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes mobiles qui facilitent leur compatibilité avec les systèmes SRS, SES et SETS fonctionnant dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz.

Les caractéristiques des systèmes mobiles qui facilitent le partage sont les suivantes:

- émissions de faible densité spectrale de puissance,
- transmissions de caractère intermittent,
- utilisation d'antennes d'émission directives,
- limitation automatique du nombre de stations mobiles, de par la nature même de l'application.

Les études concernant les différentes séries d'hypothèses et de gammes de valeurs pour ces caractéristiques générales sont présentées dans les paragraphes qui suivent. De nouvelles études relatives à la compatibilité entre systèmes mobiles et systèmes scientifiques spatiaux dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz seront nécessaires pour mieux définir le milieu ambiant exposé aux brouillages.

2 Résumé des études de p.i.r.e. et de gain d'antenne

L'introduction de spécifications techniques pour le service mobile dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz a conduit à la proposition d'une limite de p.i.r.e. de 28 dBW ainsi qu'à un gain d'antenne minimal de 24 dBi afin de faciliter le partage avec les services scientifiques spatiaux. Il a été procédé à des études des incidences qu'auront ces systèmes en termes de brouillages sur le service de recherche spatiale.

Le modèle utilisé dans cette étude reposait sur l'hypothèse d'une répartition globale et uniforme des stations mobiles à antenne directive, avec des valeurs de gain comprises entre 22 et 26,5 dBi et des valeurs de p.i.r.e. s'échelonnant de 28 à 37 dBW. Les altitudes prises en considération pour l'orbite des engins spatiaux étaient de 250 à 36 000 km.

Les résultats de cette étude montrent que les opérations des services scientifiques spatiaux dans la bande 2 200-2 290 MHz sont beaucoup plus sensibles aux brouillages que dans la bande 2 025-2 110 MHz. Une étude de la sensibilité du gain d'antenne a été menée. Dans le cas de niveaux de p.i.r.e. constants, la probabilité des brouillages diminue à mesure que le gain d'antenne augmente, comme le montre la Fig. 7 où il apparaît également que la probabilité de brouillage augmente de manière non linéaire en cas d'augmentation linéaire de la p.i.r.e.

En dernière analyse, l'étude concluait que la limite de p.i.r.e. proposée de 28 dBW, ainsi qu'un gain d'antenne de plus de 24 dBi, constituaient des dispositions adéquates pour permettre le partage avec quelque 1 000 systèmes mobiles de ce type dans le monde entier.

3 Résumé d'une étude des brouillages causés par certains systèmes mobiles

Il a été procédé à une étude dans laquelle étaient envisagés quatre scénarios possibles en matière de brouillages causés aux systèmes des services scientifiques spatiaux, comme indiqué au Tableau 7.

Les caractéristiques des systèmes utilisés dans cette étude sont examinées dans les paragraphes qui suivent.

3.1 Caractéristiques des systèmes

3.1.1 Caractéristiques de réception

3.1.1.1 Satellite relais de données

Antenne de réception (censée poursuivre l'engin spatial sur orbite basse lorsqu'il est visible):

- gain dans l'axe de visée = 34 dBi;
- caractéristiques en dehors du faisceau conformes au diagramme de rayonnement de référence pour des faisceaux circulaires à alimentation unique (niveau du lobe latéral proche de -20 dB) tels que définis dans la Recommandation UIT-R S.672.

FIGURE 7
Probabilité de brouillage pour les caractéristiques de divers systèmes de reportage d'actualités (ENG)

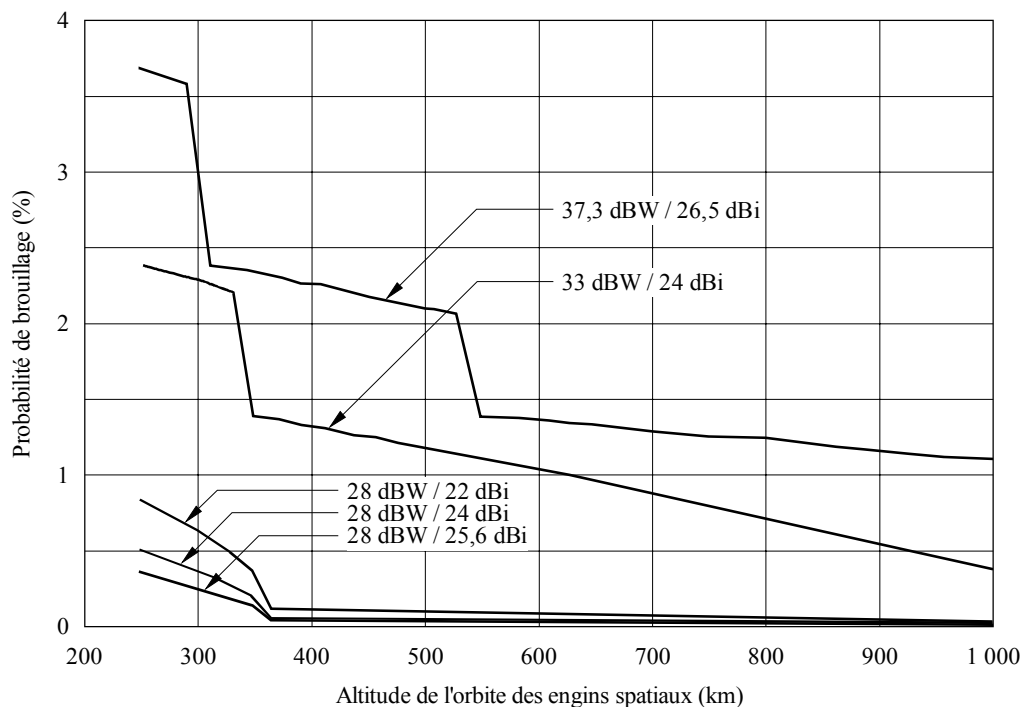


TABLEAU 7

| | 2 025-2 110 MHz | 2 200-2 290 MHz |
|--|---------------------------------|----------------------------------|
| Services spatiaux Relais de données | Espace-espace (Aller) (1) | Espace-espace (Retour) (3) |
| Services spatiaux Liaison directe avec la Terre | Terre-espace (2) | Espace-Terre (4) |
| Mobile | Directif (ENG) | Equidirectif |

3.1.1.2 Engin spatial sur orbite basse (pointage en direction du satellite relais de données)

Antenne de réception (censée poursuivre le satellite relais géostationnaire lorsqu'il est visible):

- gain dans l'axe de visée = 25 dBi;
- caractéristiques en dehors du faisceau conformes au diagramme de rayonnement de référence pour des faisceaux circulaires à alimentation unique (niveau du lobe latéral proche de -20 dB) tels que définis dans la Recommandation UIT-R S.672;
- altitude de l'orbite = 300 km;
- inclinaison = 29° .

3.1.1.3 Engin spatial sur orbite basse (pointage en direction de la Terre)

Antenne de réception équidirective (gain = 0 dBi):

- altitude de l'orbite = 300 km;
- inclinaison = 29° .

3.1.1.4 Station terrienne

Antenne de réception (censée poursuivre l'engin spatial sur orbite basse lorsqu'il est visible):

- gain dans l'axe de visée = 45 dBi;
- caractéristiques en dehors du faisceau conformes à celles définies dans les Appendices 28 et 29 du RR.

3.1.2 Caractéristiques d'émission

3.1.2.1 Station mobile (directive) – ENG

- gain dans l'axe de visée de l'antenne = 25 dBi;
- densité spectrale de puissance à l'intérieur de l'antenne = -38 dB(W/kHz);
- caractéristiques en dehors du faisceau conformes à celles définies dans les Appendices 28 et 29 du RR.

3.1.2.2 Station mobile (équidirective)

- gain d'antenne = 0 dBi;
- densité spectrale de puissance à l'intérieur de l'antenne = -42 dB(W/kHz).

3.2 Résumé et conclusions

Quatre configurations géométriques (A à D) ont été évaluées pour les scénarios représentés au Tableau 7, d'après les caractéristiques techniques indiquées ci-dessus. Les résultats d'une analyse probabiliste sont résumés au Tableau 8.

TABLEAU 8

| Référence | Source de brouillage | Niveau maximal de brouillage par rapport au critère (dB) | Pourcentage de probabilité de dépassement du critère (%) |
|-----------|--|--|--|
| 1 A | ENG vers orbite basse (pointage vers le satellite relais de données) | + 31,0 | 0,65 |
| 1 B | | + 7,5 | 0,20 |
| 1 C | | + 6,5 | 0,15 |
| 1 D | | + 6,5 | 0,15 |
| 2 A | ENG vers orbite basse (pointage vers la Terre) | + 2,5 | 0,20 |
| 2 B | | + 2,5 | 0,04 |
| 2 C | | + 2,5 | 0,045 |
| 2 D | | + 2,5 | 0,035 |
| 3 A | Station équidirective vers satellite relais de données | - 16,5 | 2,50 ⁽¹⁾ |
| 3 B | | - 16,5 | 1,50 ⁽¹⁾ |
| 3 C | | - 15,0 | 0,15 ⁽¹⁾ |
| 3 D | | - 15,0 | 0,50 ⁽¹⁾ |
| 4 A | Station équidirective vers station terrestre | + 48,5 | 1,00 |
| 4 B | | + 48,0 | 0,55 |

⁽¹⁾ Probabilité de niveau maximal de brouillage.

3.2.1 Brouillages causés par des stations mobiles directives à un engin spatial sur orbite basse (pointage en direction du satellite relais de données) dans la bande 2025-2110 MHz

Les valeurs du Tableau 8 donnent à penser qu'une station ENG unique dans diverses configurations géométriques peut dépasser les critères de protection applicables. Toutefois, pour la majorité des configurations, une réduction de 1 dB de la puissance d'émission de la station ENG permettrait de réduire à 0,1% la probabilité pour que le critère de protection soit dépassé. Il n'en n'irait naturellement pas de même pour les configurations géométriques plus critiques, d'où la nécessité parfois d'imposer certaines contraintes pour le choix des emplacements des terminaux ENG terrestres.

3.2.2 Brouillages causés par des stations mobiles directives à un engin spatial sur orbite basse (pointage en direction de la Terre) dans la bande 2025-2110 MHz

Les résultats donnent à penser que deux ou trois stations séparées dans l'espace pour un même canal seraient acceptables, d'où l'admissibilité d'un ensemble de 100 et 150 stations ENG, sans prendre en considération la géométrie du cas le plus défavorable.

3.2.3 Brouillages causés par des stations mobiles équidirectives à un satellite relais de données géostationnaire (poursuivant un engin spatial sur orbite basse) dans la bande 2200-2290 MHz

Il ressort des valeurs présentées au Tableau 8 que les niveaux de puissance de brouillage d'une station équidirective sont tout à fait dans les limites des critères admissibles. Toutefois, les probabilités pour que de tels niveaux se produisent étant élevées, plusieurs stations pourraient

donner lieu à des niveaux totaux de brouillage qui, bien que dépassant à peine les niveaux de puissance admissibles, représenteraient de nombreuses fois les niveaux admissibles en termes de probabilité d'occupation.

3.2.4 Brouillages causés par des stations mobiles équidirectives à une station terrienne (poursuivant un engin spatial sur orbite basse) dans la bande 2 200-2 290 MHz

Dans l'hypothèse de l'absence de trajets à visibilité directe telle que l'affaiblissement de transmission de référence suit une loi cubique inverse, un terminal équidirectif peut fonctionner dans un rayon de 0,5 km d'une station terrienne (avec un angle d'élévation supérieur à 5°).

Annexe 3

Description de certains systèmes de reportage d'actualités (ENG) fonctionnant dans la bande 2 025-2 110 MHz

1 Introduction

La présente Annexe traite des caractéristiques techniques et d'exploitation particulières de systèmes ENG spécifiques utilisés par certaines administrations, caractéristiques qui peuvent faciliter le partage avec les services SRS, SES et SETS.

2 Caractéristiques/description des systèmes ENG

Les systèmes ENG comprennent à la fois les systèmes «œil mobile» et les systèmes ENG transportables de prise d'image en divers emplacements et pour différentes activités. Les systèmes ENG sont utilisés pour des reportages d'actualités ou des interviews sur le terrain et pour l'enregistrement et la retransmission vidéo en direct de rencontres sportives ou de spectacles. En raison de l'intérêt de la vidéo sur le terrain, la plupart des stations de télévision locale en zone urbaine aux Etats-Unis d'Amérique utilisent des systèmes ENG. Les systèmes ENG transportables, utilisés pour les reportages sur le terrain, sont généralement installés à bord de camionnettes; fonctionnant en mode stationnaire, ils émettent des signaux vidéo à destination d'un emplacement de réception fixe. Ces systèmes offrent la mobilité voulue pour des reportages d'actualités en différents points d'une région géographique.

3 Systèmes ENG et environnements correspondants

La présente section décrit deux modes de fonctionnement courants:

3.1 Systèmes transportables

Les systèmes ENG transportables décrits dans le § 2 servent à des enregistrements vidéo destinés à être retransmis en direct ou en différé pour des reportages d'actualités, et la diffusion de rencontres sportives et de spectacles. Les systèmes ENG transportables, qui sont généralement installés à bord de camionnettes, utilisent des émetteurs fonctionnant à une puissance d'environ 10,8 dBW. Ces systèmes utilisent des antennes directives, au gain de 20 à 22 dBi, installées en haut d'un mât

télescopique pouvant atteindre 15 m de hauteur. Les systèmes ENG peuvent employer la polarisation linéaire ou circulaire pour s'assurer une meilleure protection contre les brouillages qu'ils se causent les uns aux autres. Les systèmes ENG sont nombreux (de 30 à 50% d'entre eux probablement) à transmettre avec un affaiblissement de transmission en ligne pouvant atteindre 5 dB.

3.2 Systèmes «œil mobile»

Micro-émetteurs hyperfréquence, utilisés pour des enregistrements vidéo en mode non stationnaire et en gros plan dans des endroits où l'on souhaite filmer en direct et où il est peu pratique d'emporter avec soi des magnétoscopes, en raison de leur taille et des conditions difficiles sur le terrain. Ces émetteurs ont généralement une puissance maximale de fonctionnement de 5 dBW. Ces systèmes, qui utilisent essentiellement des antennes équidirectives au gain de 0 à 3 dBi, peuvent aussi utiliser la polarisation linéaire ou circulaire.

Un système «œil mobile» est généralement utilisé à la place, et non pas en plus, d'un système ENG transportable fonctionnant dans le même canal. Le fonctionnement simultané de systèmes «œil mobile» et de systèmes transportables est généralement impossible, les systèmes transportables causant des brouillages excessifs aux récepteurs «œil mobile».

Le Tableau 9 donne les caractéristiques des systèmes ENG types fonctionnant dans la bande 2025-2 110 MHz.

TABLEAU 9

Systèmes ENG types à 2 GHz utilisés aux Etats-Unis d'Amérique

| Type d'utilisation | Emplacement de l'émetteur | Puissance d'émission | Gain d'antenne (dBi) | Emplacement du récepteur |
|--|-----------------------------------|----------------------|----------------------|--|
| Système ENG transportable (camionnette) | Mât de la camionnette | 12 W | 22 | Tour |
| Liaison fixe temporaire | Toit | 12 W | 25 | Toit |
| Conférence | Tribune de la salle de conférence | 100 mW | 0-5 | Gradins |
| Système «œil mobile» (par exemple, skieur) | Corps/casque | 100 mW | 0 | Sur une hauteur ou dans un hélicoptère |
| Rencontres sportives | | | | |
| Terrain de sport | Sur le terrain de sport | 1 W | 12 | Tribune de presse |
| Terrain de golf (système 1) | Sur le terrain de golf | 3 W | 16 | Ballon captif |
| Terrain de golf (système 2) | Sur le terrain de golf | 12 W | 12 | Grue (bras télescopique) |
| Circuit automobile | Dans la voiture | 3 W | 7 | Hélicoptère |
| Hélicoptère | Hélicoptère relais | 12 W | 7 | Point de réception au sol |
| Marathon | | | | |
| Motocyclette suiveuse | Motocyclette | 3 W | 7 | Hélicoptère |
| Véhicule relais | Pick-up | 12 W | 12 | Hélicoptère |
| Hélicoptère | Hélicoptère relais | 12 W | 7 | Toit |

4 Caractéristiques de fonctionnement

Tous les systèmes ENG ne peuvent toutefois fonctionner simultanément. En raison de leur sensibilité aux brouillages, ils n'autorisent généralement qu'une seule émission à la fois par canal et par emplacement de réception. La plupart des réseaux commerciaux de télévision aux Etats-Unis disposent d'un grand nombre d'emplacements de réception autorisant des émissions simultanées sur un même canal. Toutefois, le nombre d'émissions simultanées possible sur le canal le plus occupé est limité à six dans la plupart des grands réseaux commerciaux, se limitant généralement à deux pour les autres réseaux. Il est rare que l'on compte plus de deux émissions simultanées sur un même canal. En fait, seuls les plus grands réseaux commerciaux de télévision disposent d'un grand nombre d'emplacements de réception et de systèmes ENG, les émissions simultanées de systèmes ENG dans un même canal étant peu fréquentes, voire inexistantes, dans la plupart des régions.

Bien qu'utilisés 24 h sur 24, les systèmes ENG transportables fonctionnent principalement pour la diffusion des informations locales en semaine, soit généralement autour de 1200-1230, 1700-1900 et 2300-2330 heure locale. A noter également, dans la plupart des réseaux commerciaux, une utilisation importante des systèmes ENG avant les informations de l'après-midi, autour de 1500-1700, ainsi que le regain de popularité des émissions locales matinales de 0600-0900, qui utilisent elles aussi des systèmes ENG. Les émetteurs ENG transportables servent environ deux fois par jour. Les ingénieurs diffuseurs estiment à 15 min en moyenne la durée des émissions ENG, les plus courtes d'entre elles étant de l'ordre de 5 min, les plus longues pouvant durer parfois 5 h.

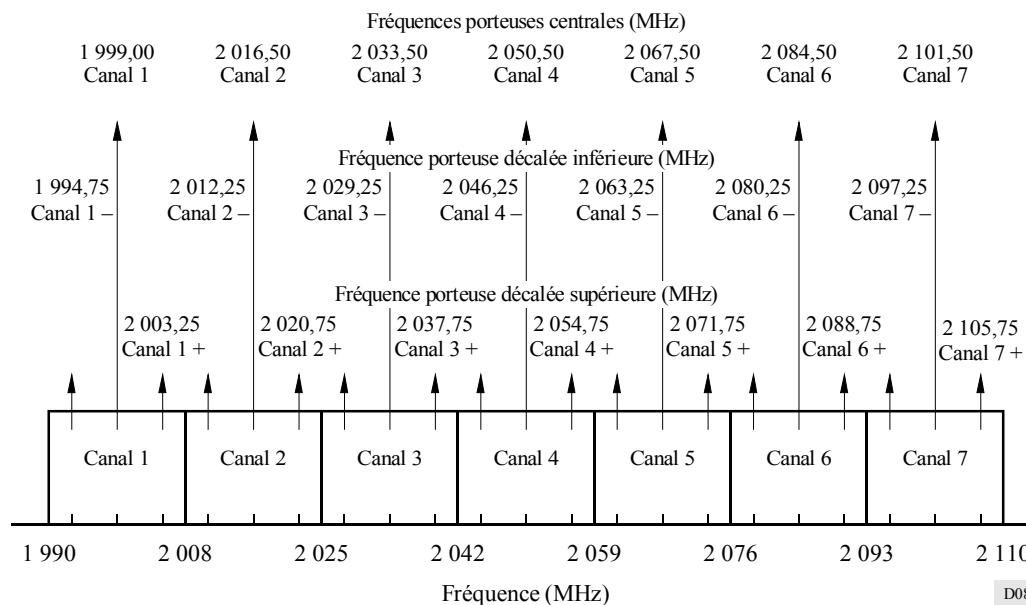
5 Utilisation et caractéristiques du spectre

La bande 1990-2110 MHz est la bande ENG par excellence, en raison de ses bonnes caractéristiques de propagation, dont les moindres niveaux d'affaiblissement dû au feuillage aux fréquences élevées et la capacité d'un signal à «rebondir sur les bâtiments», permettant ainsi l'établissement d'une liaison temporaire à destination d'un emplacement de réception fixe en dépit d'un élément occultant impossible à éviter sur le trajet.

Aux Etats-Unis d'Amérique, la bande de fréquences ENG est divisée en 7 canaux de 17 MHz chacun, à l'exception du premier canal qui est de 18 MHz (voir la Fig. 8). Les systèmes ENG fonctionnent généralement au centre de chaque canal, bien qu'ils utilisent aussi les canaux décalés inférieur et supérieur. Cela permet d'obtenir 21 fréquences porteuses qui ne sauraient toutefois être utilisées toutes en même temps. Les systèmes ENG peuvent fonctionner dans le canal central, dans les canaux décalés inférieur ou supérieur ou dans l'un et l'autre simultanément, selon les besoins et l'utilisation qui est faite du canal adjacent. Les systèmes ENG étant sensibles aux brouillages, ils n'autorisent généralement qu'une seule émission par canal et par emplacement de réception.

Les systèmes ENG utilisent la modulation de fréquence (MF) pour transmettre les signaux vidéo. La porteuse n'est pratiquement jamais transmise quand elle n'est pas modulée par le signal vidéo.

FIGURE 8
Plan des canaux ENG en usage aux Etats-Unis d'Amérique



Annexe 4

Description de certains systèmes mobiles aéronautiques de télémesure fonctionnant dans la bande 2 200-2 290 MHz

1 Introduction

Les systèmes mobiles aéronautiques de télémesure d'une administration sont constitués d'un petit nombre d'émetteurs télécommandés à courte durée d'émission fonctionnant dans certaines zones spécifiques.

On dénombre rarement plus de 15 systèmes d'émission fonctionnant simultanément dans un rayon de 1 000 km. La p.i.r.e. maximale dans la direction d'un satellite pour une largeur de bande de 3 MHz dans un rayon de 1 000 km dépassera rarement 10 W.

2 Caractéristiques techniques des systèmes mobiles aéronautiques de télémesure

La télémesure aéronautique utilise la bande 2 200-2 290 MHz pour les essais de missiles, de lanceurs spatiaux, d'aéronefs et de sous-systèmes depuis la fin des années 60. Si dans leur grande majorité ces essais durent moins de 10 min, certains d'entre eux toutefois durent plusieurs heures. Les opérations de télémesure peuvent être effectuées à n'importe quelle heure de la journée, leur période d'utilisation maximale se situant pendant les heures de la journée. Aux Etats-Unis d'Amérique, dans leur majorité, les essais en vol se font dans un ou plusieurs polygones d'essai fédéraux.

Les caractéristiques des systèmes d'émission de télémesure sont optimisées pour le véhicule soumis à essai. Elles varient donc considérablement d'un véhicule à l'autre. Il n'existe pas de système d'émission «type». La puissance apparente rayonnée des systèmes de télémesure est généralement de 1 à 5 W. Le niveau de puissance nécessaire est fonction de la quantité d'informations à transmettre, de la portée maximale entre les systèmes d'émission et de réception, de la qualité requise pour les données et de la sensibilité du système de réception. Les antennes d'émission de télémesure, généralement à polarisation linéaire, sont habituellement conçues pour assurer une couverture presque isotrope en raison du risque de changement très rapide de l'orientation du véhicule soumis à essai par rapport à l'antenne de réception de télémesure. Etant donné que l'antenne de réception poursuit un véhicule en vol, les signaux à l'intérieur du récepteur subissent d'importantes variations de niveau. Ces «évanouissements» sont dus aux zéros du diagramme de rayonnement de l'antenne du véhicule et aux anomalies de propagation (trajets multiples et conduits, par exemple). La baisse de niveau du signal pendant les évanouissements peut être de plus de 30 dB. Les conditions optimales de vol imposent donc un signal reçu d'un niveau considérablement au-dessus du seuil pour éviter toute perte de données en présence d'évanouissements.

Les formats et les débits de données de télémesure varient donc considérablement d'un véhicule à un autre. La plupart des systèmes d'émission de télémesure utilisent la modulation de fréquence ou de phase. Les signaux d'entrée dans l'émetteur peuvent être analogiques ou numériques ou mixtes analogiques-numériques. Pour les systèmes d'émission de télémesure, 99% de la puissance se trouve concentrée dans une largeur de bande de moins de 1 MHz à plus de 10 MHz.

La valeur requise du rapport signal/bruit avant détection pour que la qualité des données soit acceptable varie de 9 à 15 dB. La distance maximale entre le véhicule en essai et la station de réception de télémesure est généralement de 20 à 400 km (la portée maximale pour certains essais est supérieure à 3 000 km). La largeur de bande des récepteurs varie habituellement de 0,5 à 10 MHz (ces valeurs vont en augmentant). La température de bruit des systèmes de réception varie de 200 K à 500 K. Les valeurs de gain dans le lobe principal des antennes de réception varient de 6 dBi pour certains systèmes mobiles de courte portée à plus de 50 dBi pour de grandes antennes. Les plus grandes de ces antennes poursuivent automatiquement le véhicule à l'essai cependant que les plus petites d'entre elles (gain inférieur à 20 dBi) sont généralement pointées en direction de l'émetteur. Les lobes latéraux de l'antenne de réception sont fonction de sa taille et du type d'antenne. Dans leur majorité, les antennes de réception de télémesure ont des diamètres de 2,44 m (8 pieds) à 10 m (32,8 pieds).

3 Considérations relatives au spectre

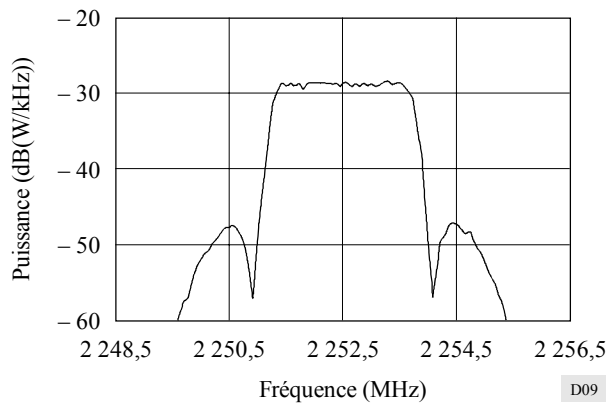
Aux Etats-Unis d'Amérique, les fabricants de systèmes mobiles aéronautiques de télémesure ont divisé cette bande en 90 canaux d'une largeur de bande de 1 MHz chacun. Plusieurs canaux sont assignés ensemble lorsqu'une largeur de bande plus grande est nécessaire.

Une coordination entre les divers usagers assure actuellement la protection des opérations aéronautiques de télémesure. Le territoire des Etats-Unis d'Amérique est divisé en zones de coordination, dans lesquelles les agents chargés de coordonner les fréquences procèdent à l'assignation de celles-ci et en programment l'utilisation.

Il existe un risque important de brouillages entre stations terriennes installées sur les emplacements d'émission aéronautique de télémesure dans la bande 2200-2290 MHz. On réduit ce risque en contrôlant l'heure, la fréquence et l'emplacement des émissions de chaque service dans cette bande. Des centres de gestion des fréquences brouilleuses permettent de procéder à des changements en temps réel et de localiser et d'identifier les émissions non autorisées.

Un exemple de densité spectrale de puissance rayonnée est présenté à la Fig. 9. Cette Figure indique la densité spectrale de puissance nominale d'un système de télémesure. Les données qui y sont présentées ne sont pas représentatives des cas le plus favorable ou le plus défavorable; elles sont données uniquement à titre d'exemple des caractéristiques spectrales du type de système le plus couramment utilisé aujourd'hui pour les systèmes mobiles aéronautiques de télémesure. En raison des composantes spectrales discrètes que peuvent comporter certains systèmes mobiles aéronautiques de télémesure à certains moments d'un vol d'essai, il se peut que les valeurs maximales de densité spectrale (dB(W/kHz)) dépassent sensiblement les valeurs indiquées à la Fig. 9.

FIGURE 9
Exemple de spectre



La puissance totale maximale rayonnée dans n'importe quelle direction par les systèmes mobiles aéronautiques de télémesure dans un rayon de 1 000 km sera inférieure à 100 W dans la bande 2 200-2 290 MHz. La puissance totale maximale rayonnée dans n'importe quelle direction dans un rayon de 1 000 km dépassera rarement 10 W pour une largeur de bande de 3 MHz.

