

RECOMMANDATION UIT-R SA.1236*

PARTAGE DES FRÉQUENCES ENTRE LES LIAISONS DU SERVICE DE RECHERCHE SPATIALE UTILISÉES POUR LES ACTIVITÉS EXTRAVÉHICULAIRES (EVA) ET LES LIAISONS DES SERVICES FIXE ET MOBILE DANS LA BANDE 410-420 MHz

(Question UIT-R 212/7)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les services fixe et mobile exploitent ou prévoient d'exploiter divers systèmes dans la bande 410-420 MHz;
- b) que le service de recherche spatiale prévoit d'exploiter des liaisons pour les activités extravéhiculaires (EVA) dans la bande 410-420 MHz, pour des communications espace-espace, dans un rayon de 5 km autour d'un engin spatial habité sur orbite;
- c) qu'il est possible d'assurer la protection des services fixe et mobile en limitant la puissance surfacique des émissions des EVA;
- d) que, pour le service de recherche spatiale, la présence de brouillages dans la bande 410-420 MHz risquent souvent de contribuer à déterminer la distance maximale à laquelle peuvent être exploités des systèmes EVA;
- e) que l'Annexe 1 décrit une méthode permettant d'évaluer la protection à accorder aux services fixe et mobile et également de prévoir l'environnement radioélectrique des systèmes EVA,

recommande

1 dans la bande de fréquences 410-420 MHz, de ne pas dépasser les valeurs ci-après pour la puissance surfacique maximale produite, dans des conditions de propagation en espace libre, à la surface de la Terre par les émissions des EVA en orbite terrestre basse, dans toutes les conditions et pour toutes les méthodes de modulation:

-153	dB(W/m ²)	pour	$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$
$-153 + 0,077(\theta - 5)$	dB(W/m ²)	pour	$5^\circ < \theta \leq 70^\circ$
-148	dB(W/m ²)	pour	$70^\circ < \theta \leq 90^\circ$

où θ est l'angle d'arrivée de l'onde radioélectrique (degrés) au-dessus du plan horizontal et où la largeur de bande de référence est de 4 kHz;

2 de concevoir les systèmes EVA de façon à en optimiser les distances d'exploitation et à tirer le meilleur parti de techniques opérationnelles – diversité en fréquence et programmation des activités, par exemple – pour atténuer les éventuels brouillages.

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Groupes de Travail 8A et 9D des radiocommunications.

Partage des fréquences entre les liaisons du service de recherche spatiale utilisées pour les EVA et les liaisons des services fixe et mobile dans la bande 410-420 MHz

1 Introduction

La Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a fait une attribution secondaire au service de recherche spatiale dans la bande 410-420 MHz pour les opérations espace-espace, lesquelles, circonscrites à un rayon de 5 km autour d'un véhicule spatial habité sur orbite, doivent permettre aux astronautes, lors de leurs sorties dans l'espace (EVA) de communiquer entre eux ainsi qu'avec les véhicules spatiaux principaux ou de base. Avec la multiplication des installations spatiales permanentes, les EVA sont appelées elles aussi à s'intensifier, ce qui permettra de réaliser un grand nombre des activités spatiales planifiées ou prévues. Ces considérations valent en particulier pour la construction, la maintenance et l'exploitation des installations spatiales.

La présente Annexe est une mise à jour des travaux effectués par l'ex-CCIR en 1991. Elle précise les conditions que doivent remplir les communications EVA dans la bande 410-420 MHz et définit les caractéristiques de communication types propres aux services fixe et mobile exploités dans la bande. Elle examine les brouillages que les systèmes EVA du service de recherche spatiale causent aux systèmes des services fixe et mobile, brouillages exprimés en termes de puissance surfacique incidente produite à la surface de la Terre. On utilise un système du service fixe représentatif et un système du service mobile représentatif pour évaluer les brouillages causés aux liaisons EVA du service de recherche spatiale.

2 Objectifs et impératifs du service de recherche spatiale

Les liaisons espace-espace du service de recherche spatiale dans la bande 410-420 MHz sont utilisées avant tout pour fournir des liaisons de communication de haute qualité aux astronautes lorsqu'ils effectuent des sorties dans l'espace. Ces liaisons sont de trois sortes:

- liaisons de communication vocale directes entre astronautes effectuant des sorties dans l'espace,
- liaisons de communication vocale directes entre l'astronaute et le véhicule spatial principal,
- liaisons de communication de données directes entre l'astronaute et le véhicule spatial principal.

Les astronautes communiquent par l'intermédiaire d'une unité de mobilité EVA (EMU) reliée à leur combinaison de survie. Même s'il n'est nécessaire de communiquer que rarement, il faut pouvoir établir la liaison à tout moment. Quatre astronautes au plus pourront communiquer simultanément avec le véhicule spatial principal.

L'altitude de l'orbite pour les EVA est comprise en général entre 333 et 460 km, pour un angle d'inclinaison pouvant aller jusqu'à 60°. La distance maximale à laquelle les astronautes peuvent communiquer entre eux est de 500 m. Dans le cas de communication entre un astronaute et un véhicule spatial principal, la portée maximale est de 1 000 m.

3 Description et caractéristiques du système

Pour assurer les communications nécessaires dans le système, il faut établir les trois types de liaison suivants:

- liaisons entre deux (ou plus de deux) astronautes (EMU à EMU),
- liaisons entre un astronaute et l'engin de base (EMU vers véhicule de base),
- liaison entre l'engin de base et un (ou plusieurs) astronautes (véhicule de base vers EMU).

Le Tableau 1 indique les caractéristiques de communication et le Tableau 2 les bilans de liaison pour ce système. Les diagrammes de rayonnement d'antenne de l'antenne de l'unité EMU et celle du véhicule de base sont représentés aux Fig. 1 et 2.

TABLEAU 1

Caractéristiques d'un système EVA

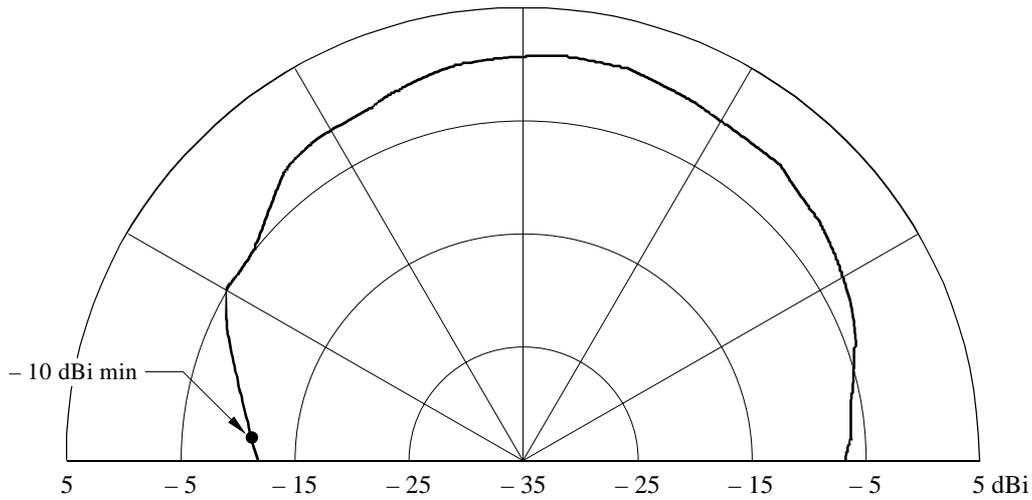
Fréquence (MHz)	415	
Modulation	AMRT/MDF à phase continue	
Débit des paquets de données (kbit/s)	695	
Largeur de bande (kHz)	800	
Taux d'erreur binaire maximum	1×10^{-5}	
Rapport E_b/N_0 requis (dB)	12,6	
	EMU	Véhicule de base
<i>Paramètres d'émission:</i>		
Puissance d'émission (dBW)	-6,0	-6,0
Affaiblissement sur la ligne de transmission (dB)	-0,2	-7,0
Gain d'antenne maximal (dBi)	1,5	3,0
Gain d'antenne minimal (dBi)	-10,0	-6,0
Polarisation de l'antenne	Rectiligne	Circulaire
p.i.r.e. maximale (dBW)	-4,7	-10,0
<i>Paramètres de réception:</i>		
Gain d'antenne maximal (dBi)	1,5	3,0
Gain d'antenne minimal (dBi)	-10,0	-6,0
Affaiblissement sur le câble de l'antenne (dB)	-0,2	-7,0
Température de bruit du système (K)	1 820	2 754

TABLEAU 2

Bilans de liaison du système EVA

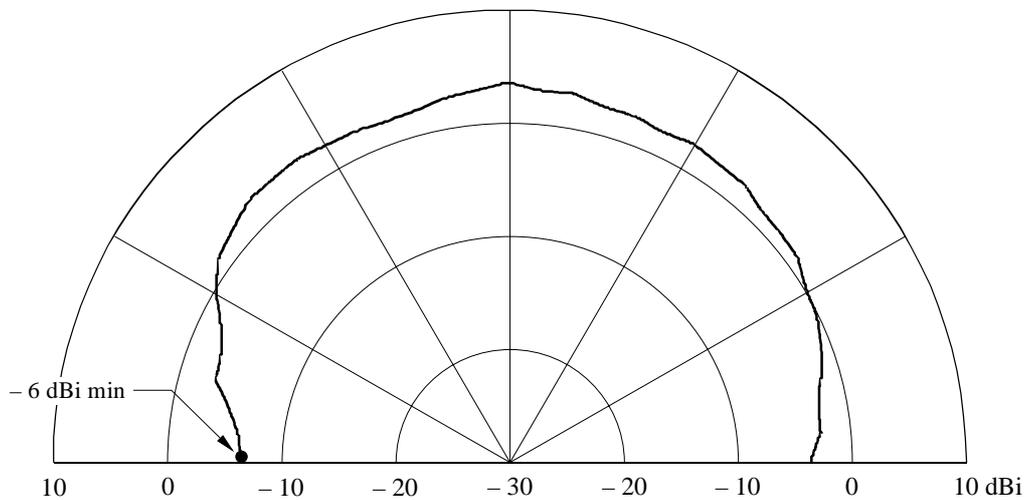
	EMU à EMU	EMU vers véhicule de base	Véhicule de base vers EMU
<i>Système d'émission:</i>			
Puissance de l'émetteur (dBW)	-6,0	-6,0	-6,0
Affaiblissement sur la ligne de transmission (dB)	-0,2	-0,2	-7,0
Gain d'antenne minimal (dBi)	-10,0	-10,0	-6,0
p.i.r.e. (dBW)	-16,2	-16,2	-19,0
Distance maximale (m)	500	1 000	1 000
Affaiblissement spatial (dB)	-78,8	-84,8	-84,8
<i>Système de réception:</i>			
Gain d'antenne minimal (dBi)	-10,0	-6,0	-10,0
Affaiblissement sur le câble de l'antenne (dB)	-0,2	-7,0	-0,2
Affaiblissement de polarisation (dB)	-3,0	-3,0	-3,0
Puissance reçue (dBW)	-108,2	-117,0	-117,0
Température de bruit du système (K)	1 820	2 754	1 820
Densité spectrale de bruit (dB(W/Hz))	-196,0	-194,2	-196,0
Débit des paquets de données (dB(Hz))	58,4	58,4	58,4
Affaiblissement de mise en œuvre (dB)	-3,0	-3,0	-3,0
Rapport E_b/N_0 reçu (dB)	26,4	15,8	17,6
Rapport E_b/N_0 requis (dB)	12,6	12,6	12,6
Marge de liaison (dB)	13,8	3,2	5,0

FIGURE 1
Diagramme de l'antenne de l'unité EMU



1236-01

FIGURE 2
Diagramme de l'antenne du véhicule de base



1236-02

4 Brouillages causés par les liaisons EVA du service de recherche spatiale aux liaisons des services fixe et mobile

Le Rapport UIT-R M.358 «Rapports de protection et champs minimaux nécessaires dans les services mobiles» précise que la dégradation d'un rapport signal/bruit initial de 20 dB qui se transforme en un rapport signal/(bruit plus brouillage) de 14 dB est un rapport de protection acceptable. Cette dégradation de 6 dB correspond à un rapport signal/brouillage de 15,26 dB. Ce critère a été utilisé pour déterminer le champ brouilleur autorisé et les valeurs correspondantes de la puissance surfacique produite par des liaisons EVA à appliquer pour protéger les stations réceptrices du service mobile

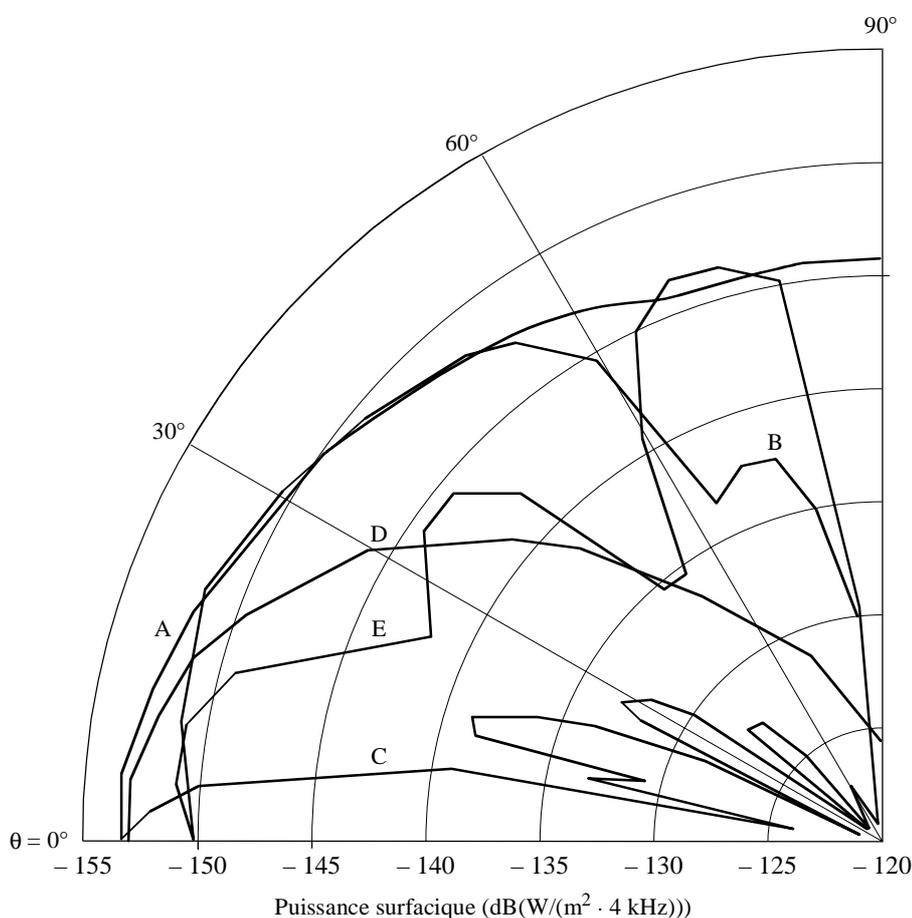
de Terre. Pour un angle d'élévation de 0° , pour une station de base la valeur du champ brouilleur a été fixée à $-1,4 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ dans une bande de 16 kHz ce qui correspond à une puissance surfacique de $-153,2 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 4 \text{ kHz}))$. Pour une station mobile, la valeur de ce champ est de $+1,6 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ dans une bande de 16 kHz, soit une puissance surfacique de $-150,2 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 4 \text{ kHz}))$.

Les courbes B, C, D et E de la Fig. 3 donnent les valeurs du champ brouilleur correspondant au cas le plus défavorable (exprimé en puissance surfacique incidente produite au niveau de la station de réception mobile) en fonction de l'angle d'élévation du satellite, compte tenu des variations du gain de l'antenne de réception en fonction de l'angle d'élévation. Un champ brouilleur inférieur aux (à gauche des) valeurs données par les courbes respecterait les critères.

La courbe A de la Fig. 3 indique les limites de puissance surfacique élaborées par l'ex-CCIR en 1991. Il ressort de cette figure que le champ brouilleur respecte les critères pour la plupart des points et qu'il est marginal pour les angles d'élévation correspondant au cas le plus défavorable.

FIGURE 3

Puissance surfacique incidente au niveau de la station mobile de réception



Courbes A: puissance surfacique la plus élevée produite à la surface de la Terre par des liaisons EVA (altitude de l'orbite: 333 km)

B: puissance surfacique maximale pour respecter les critères du Rapport UIT-R M.358, gain d'antenne de la station de base de 5 dBi

C: puissance surfacique maximale pour respecter les critères du Rapport UIT-R M.358, gain d'antenne de la station de base de 12 dBi

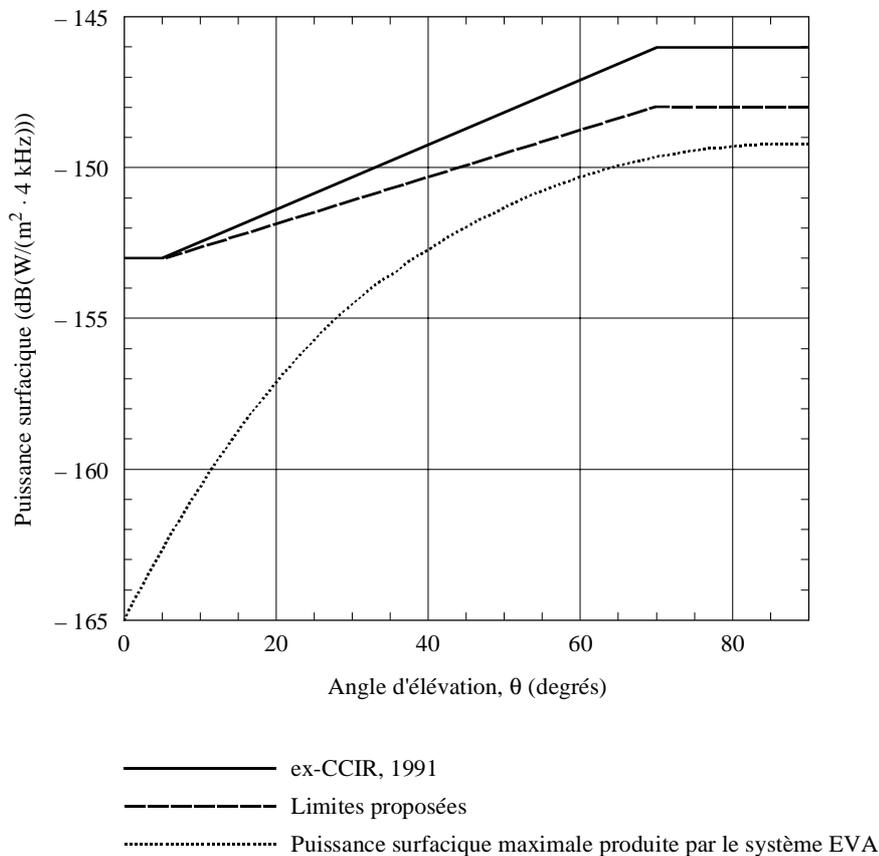
D: puissance surfacique maximale pour respecter les critères du Rapport UIT-R M.358, antenne quart d'onde du véhicule

E: puissance surfacique maximale pour respecter les critères du Rapport UIT-R M.358, gain d'antenne du véhicule de 5 dBi

Les conditions de partage entre des émetteurs EVA et des systèmes de Terre fixes sont analogues à celles que l'on observe entre stations de base du service mobile utilisant des antennes présentant un gain de 12 dBi. Les systèmes fixes types ont des émetteurs de 25 W et utilisent des antennes présentant un gain de 10 dBi, les gains maximaux étant obtenus lorsque l'antenne est pointée vers l'horizon.

Les techniques actuelles sont plus contraignantes pour le système EVA, d'où une protection accrue des services fixe et mobile dans la bande. La Fig. 4 indique les limites recommandées, telles qu'elles ont été convenues par l'ex-CCIR en 1991, les nouvelles limites recommandées qui ont été proposées et la puissance surfacique maximale incidente produite par le système EVA à la surface de la Terre.

FIGURE 4
Limites de puissance surfacique recommandées



Limites de puissance surfacique recommandées par l'ex-CCIR en 1991:

- 153 dB(W/m²) dans une bande quelconque large de 4 kHz $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$
- $153 + 0,108(\theta - 5)$ dB(W/m²) dans une bande quelconque large de 4 kHz $5^\circ < \theta \leq 70^\circ$
- 146 dB(W/m²) dans une bande quelconque large de 4 kHz $70^\circ < \theta \leq 90^\circ$

Nouvelles limites de puissance surfacique proposées:

- 153 dB(W/m²) dans une bande quelconque large de 4 kHz $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$
- $153 + 0,077(\theta - 5)$ dB(W/m²) dans une bande quelconque large de 4 kHz $5^\circ < \theta \leq 70^\circ$
- 148 dB(W/m²) dans une bande quelconque large de 4 kHz $70^\circ < \theta \leq 90^\circ$

5 Brouillages causés par des stations des services fixe et mobile aux liaisons EVA du service de recherche spatiale

Pour ce qui est de l'examen des brouillages causés à des liaisons EVA, l'élaboration d'un ensemble de caractéristiques de transmission représentatives et le choix d'une distribution mondiale des stations du service mobile ont été fondés sur les deux hypothèses suivantes:

– *Caractéristiques d'émetteurs mobiles représentatifs*

Les caractéristiques des systèmes mobiles exploités dans la bande 410-420 MHz ont été basées sur des données de la Liste internationale des fréquences (LIF) et sur l'utilisation de ces systèmes aux Etats-Unis. Les caractéristiques d'une station mobile et d'une station de base types sont les suivantes:

	Station de base	Station mobile
Puissance (W)	100,0	100,0
Puissance (dBW)	20,0	20,0
Gain maximal (dB)	12,0 ou 5,0	5,0
Largeur de bande (kHz)	16,0	16,0

Dans certaines régions du monde, on peut utiliser en règle générale des puissances plus faibles. La Fig. 5 représente quatre diagrammes d'antenne utilisés habituellement dans le service mobile: le diagramme d'une antenne de station de base à 12 dBi, le diagramme d'une antenne de station de base à 5 dBi, le diagramme d'une antenne dipôle quart d'onde de véhicule et le diagramme d'une antenne de véhicule à 5 dBi. Aux fins de l'analyse, on suppose que les antennes des stations du service mobile se répartissent comme suit avec les niveaux de puissance d'émission donnés ci-dessous:

25% sont des stations de base dont le diagramme d'antenne correspond à celui de l'antenne d'une station de base à 12 dBi (voir Fig. 5a))

25% sont des stations de base dont le diagramme d'antenne correspond à celui de l'antenne d'une station de base à 5 dBi (voir Fig. 5b))

25% sont des stations mobiles dont le diagramme d'antenne correspond à celui d'une antenne dipôle quart d'onde (voir Fig. 5c))

25% sont des stations mobiles dont le diagramme d'antenne correspond à celui d'une antenne de station mobile à 5 dBi (voir Fig. 5d))

On observe que l'affaiblissement sur la ligne, bien que supposé égal à 0 dans la présente analyse, réduit la p.i.r.e. de 3 dB.

– *Nombre d'émetteurs simultanés et distribution de ces émetteurs*

On ne peut estimer que grossièrement la mesure dans laquelle la bande 410-420 MHz est utilisée dans le monde par les systèmes mobiles étant donné qu'il n'est pas obligatoire au niveau international d'enregistrer tous les systèmes exploités dans la bande. Aux fins de l'analyse, on a donc pris pour hypothèse une distribution mondiale de ces systèmes. Les paramètres suivants ont dicté le choix de cette distribution:

- Les 479 villes les plus peuplées du monde ont été identifiées. Elles sont indiquées à la Fig. 6.
- Les systèmes mobiles seront utilisés essentiellement dans ces grandes villes et dans leur périphérie.
- Sur la base des statistiques des Etats-Unis d'Amérique, on suppose qu'il y a une station de Terre pour 6 224 habitants dans les villes les plus peuplées du monde.
- Pour les zones situées en dehors des grandes villes: lorsque le nombre de téléphones par habitant dépassait 1% du taux des Etats-Unis d'Amérique (Almanach mondial de 1990), le pays a été quadrillé en carrés d'environ 100 km de côté, chacun représentant l'emplacement de 33 stations de Terre. L'emplacement de ces zones rurales est indiqué à la Fig. 7.
- On suppose que le coefficient d'utilisation de chaque station mobile est de 20%.

FIGURE 5
Diagrammes d'antennes de systèmes mobiles

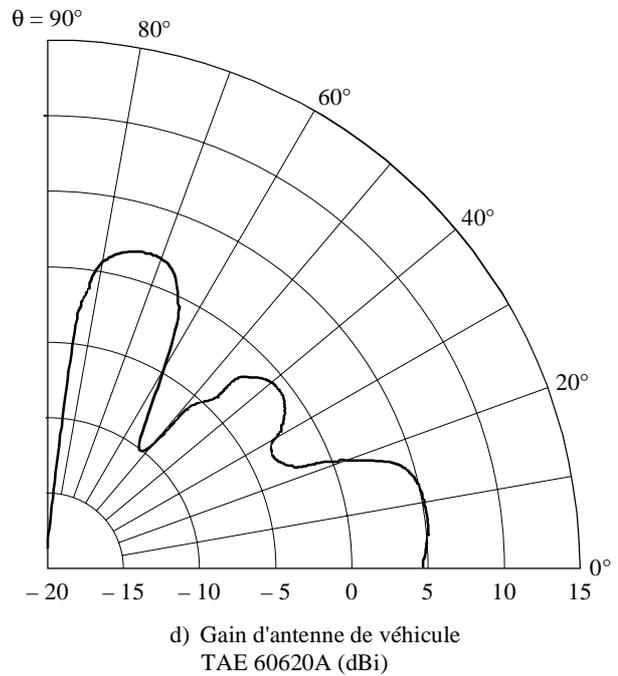
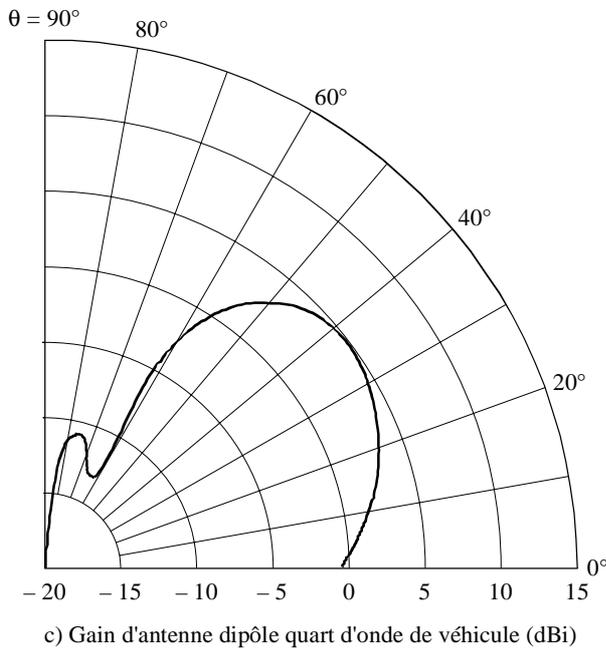
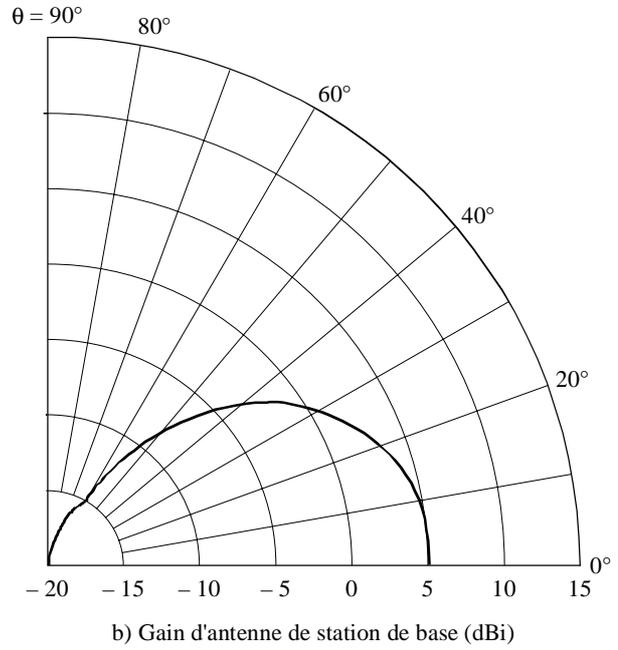
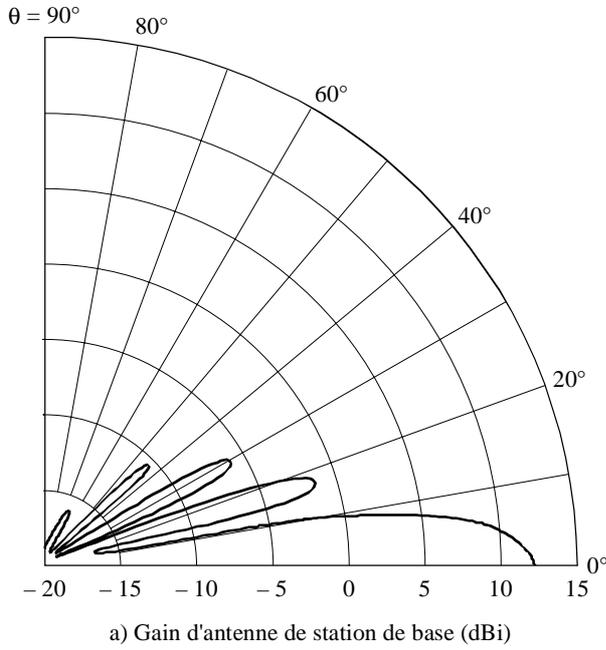
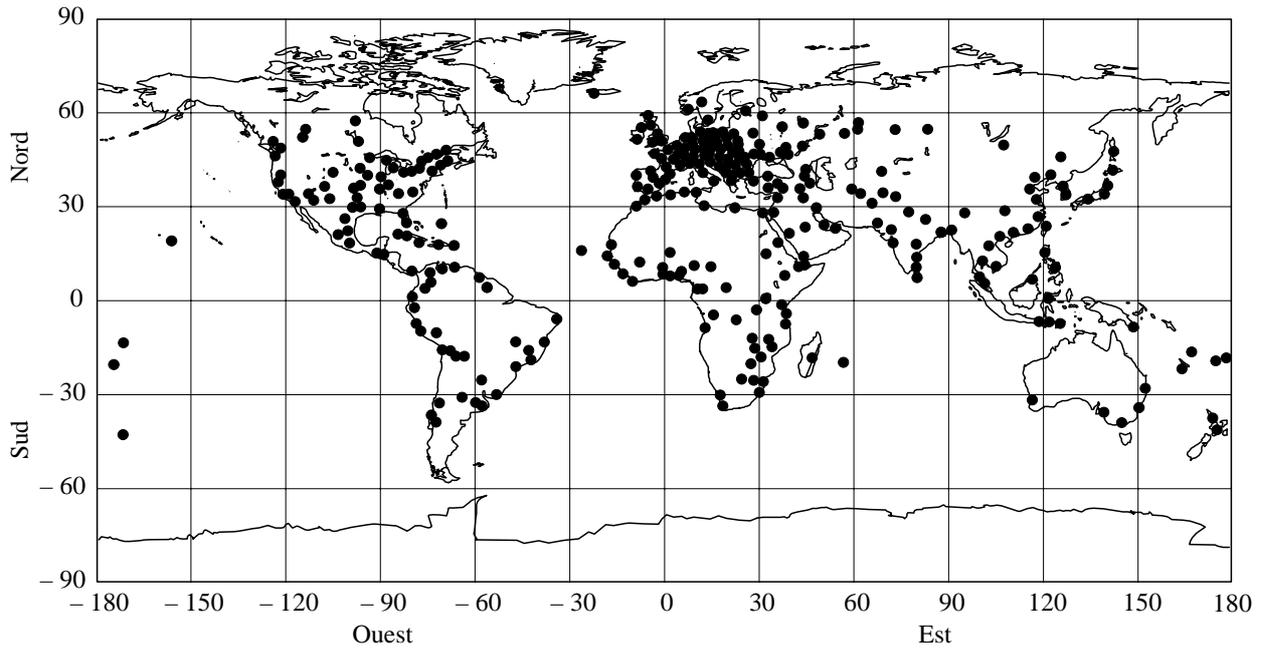
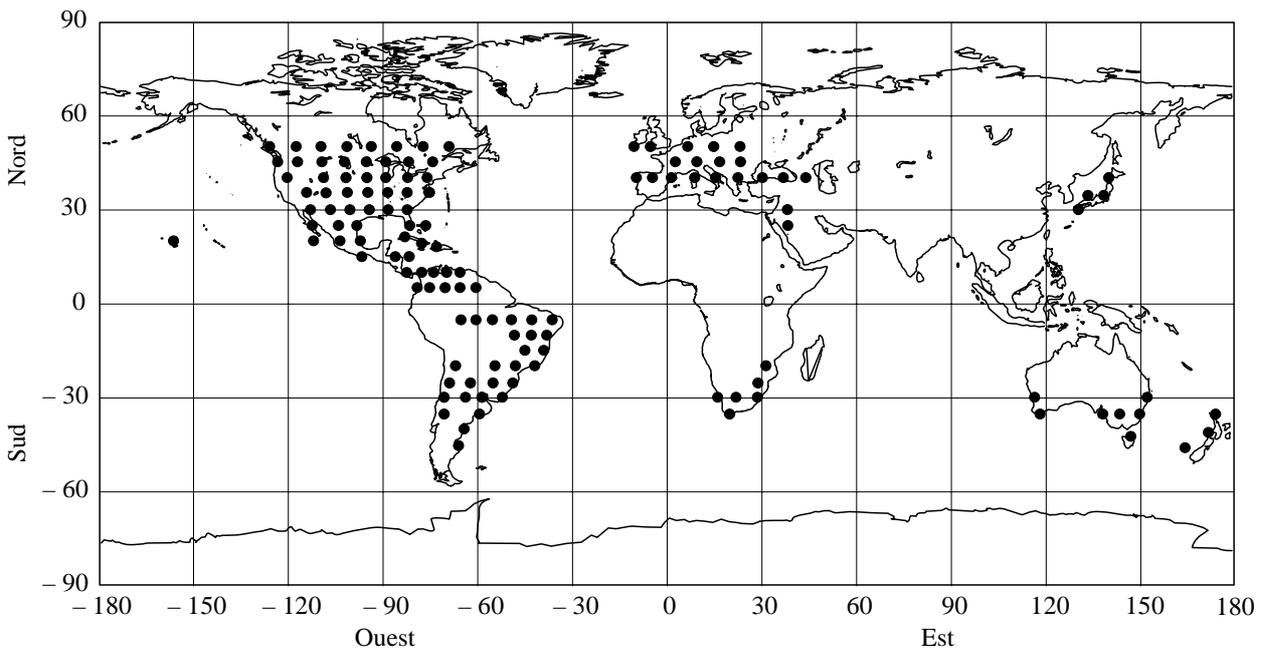


FIGURE 6
Villes les plus peuplées du monde



1236-06

FIGURE 7
Zones rurales utilisées dans le modèle de brouillage



1236-07

A l'aide du modèle de distribution décrit ci-dessus on a calculé, pour chaque point sur l'orbite, le niveau de la puissance brouilleuse produite pour des altitudes d'orbite de 333 km et de 460 km et une inclinaison de 60° . Le brouillage a été assimilé au niveau de puissance en dB(W/MHz) que recevrait une antenne isotrope. Le niveau de brouillage le plus élevé obtenu a été de $-91,7$ dB(W/MHz): il s'agissait du brouillage incident observé au niveau du satellite pour une altitude d'orbite de 333 km. La Fig. 8 montre le niveau de brouillage en fonction du pourcentage de temps pour les simulations. C'est aux Etats-Unis d'Amérique et en Europe que l'on a observé les niveaux de brouillage reçu les plus élevés. La Fig. 9 montre une carte indiquant les emplacements sur l'orbite du système EVA où le niveau de brouillage est le plus élevé.

FIGURE 8

Niveau de brouillage en fonction du temps au niveau de l'orbite du système EVA

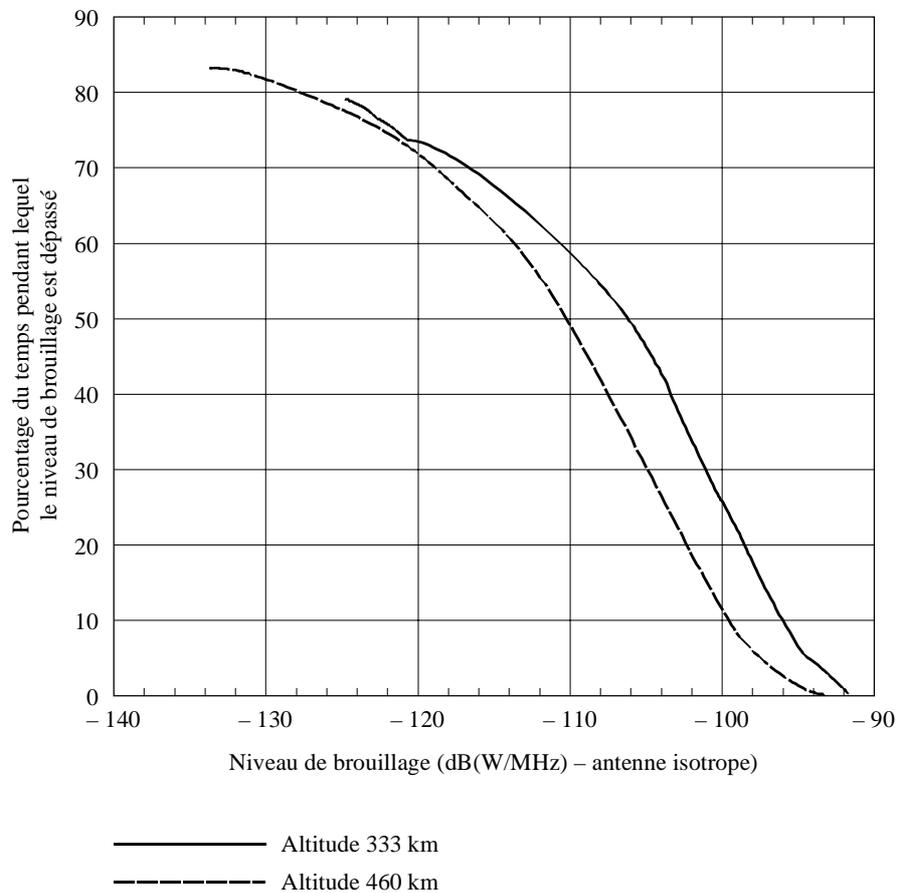
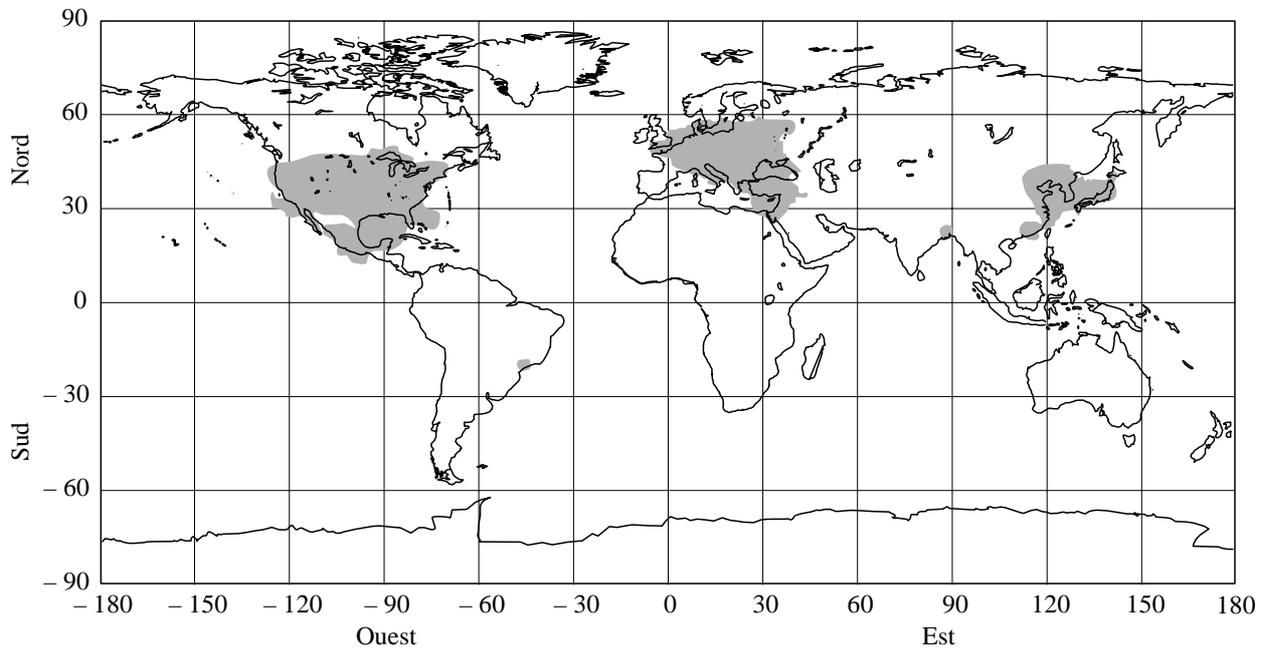


FIGURE 9
Zones sur l'orbite du système EVA où les niveaux de brouillage ont été les plus élevés



1236-09

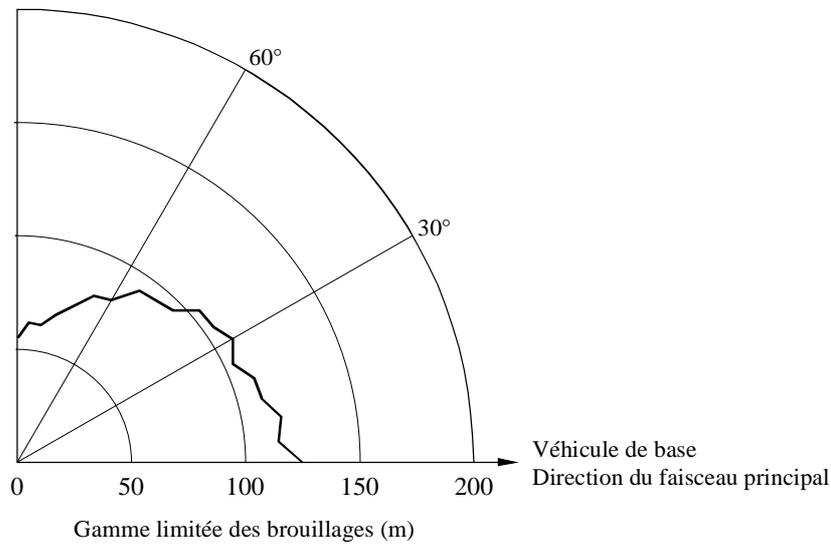
5.1 Portée utile

Un certain nombre d'hypothèses ont été formulées lors de l'analyse des effets des brouillages sur les récepteurs EVA:

- On a utilisé la liaison EVA présentant la marge de liaison la plus faible (Tableau 2) pour l'analyse des brouillages causés au système EVA. Cette liaison est la liaison d'émission entre l'unité EVA et le véhicule de base.
- On a supposé qu'un niveau de brouillage $-91,7$ dB(W/MHz) avait les mêmes effets sur les récepteurs du véhicule de base que le bruit aléatoire.
- On a supposé que le brouillage est reçu dans la région du gain maximal de l'antenne de réception du véhicule de base.
- On a supposé que le signal utile est reçu dans la région du gain minimal de l'antenne du véhicule de base.
- On a supposé qu'il n'y a pas d'affaiblissement imputable à la discrimination de polarisation entre la station mobile et la station de base EVA de réception.

On peut obtenir la portée utile de la liaison en ajoutant les $-91,7$ dB(W/MHz) au niveau de bruit et en résolvant l'équation de liaison correspondant à la liaison unité EMU – véhicule de base (voir le Tableau 2) pour la portée utile donnée. Cette portée variera autour de l'engin spatial de base car le gain de l'antenne de cet engin lui aussi varie (Fig. 2). Cette variation en fonction du pointage de l'antenne permet de déterminer en fait la zone de service autour du véhicule de base dans les limites de laquelle des communications EVA peuvent être établies. Comme le montre la Fig. 10, la portée utile est située entre 55 et 125 m selon la direction du faisceau principal par rapport au véhicule de base.

FIGURE 10
Portée utile dans les conditions les plus défavorables



1236-10

Les portées utiles seraient plus importantes dans des scénarios autres que le scénario le plus défavorable – gain d'antenne meilleur que le gain d'antenne minimal ou pertes de la ligne non nulle, s'agissant des pertes de polarisation affectant les brouillages –. Elles seraient supérieures à ces valeurs minimales pendant plus de 99% du temps. Si des affaiblissements en ligne de 3 dB sont inclus dans les émetteurs mobiles, la gamme des portées utiles peut être améliorée de 41%. Pour limiter davantage les effets des brouillages, on envisage d'utiliser des systèmes multicanaux qui peuvent recevoir sur le canal le moins brouillé.