

RECOMMANDATION UIT-R S.1526

Définition d'une méthode de mesure de l'environnement de brouillage d'un système non géostationnaire du service fixe par satellite pour le partage codirectionnel de fréquences entre deux systèmes non géostationnaires du service fixe par satellite

(Question UIT-R 231/4)

(2001)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que certains systèmes non géostationnaires (non OSG) du service fixe par satellite (SFS) sont à leurs premiers stades de développement et que leur conception sera donc probablement modifiée;
- b) que des modifications apportées à un système non OSG du SFS peuvent avoir des incidences sur d'autres systèmes non OSG du SFS en exploitation ou en projet;
- c) que d'autres systèmes non OSG du SFS en exploitation ou en projet et concernés par des modifications d'un système non OSG du SFS doivent conserver une souplesse d'adaptation suffisante pour être exploités dans les limites de leur notification;
- d) que la Recommandation UIT-R S.1431 décrit plusieurs techniques de réduction des brouillages permettant d'améliorer le partage entre les systèmes non OSG du SFS;
- e) qu'il est souhaitable que les concepteurs de systèmes non OSG du SFS disposent de méthodes de mesure leur permettant d'évaluer l'incidence de ces diverses techniques de réduction des brouillages sur la conception des systèmes;
- f) qu'il est courant que des administrations, dans le cadre de la coordination de leurs systèmes du SFS, modifient les paramètres de leurs systèmes notifiés à la suite de leurs efforts de coordination;
- g) que le numéro 11.43B du Règlement des radiocommunications (RR) et ses Règles de procédure associées adoptées par le Comité du Règlement des radiocommunications (RRB) permettent de modifier les caractéristiques de systèmes (dont celles de systèmes non OSG du SFS) correspondant à des assignations de fréquence inscrites, tout en conservant la date primitivement inscrite dans le Fichier de référence, dans la mesure où ces modifications n'augmentent pas la probabilité de brouillage préjudiciable au détriment d'assignations déjà inscrites ou dont la coordination est en cours;
- h) que le point 2 du *décide* de la Résolution 132 (CMR-97) disposait qu'en cas de modifications d'assignations de fréquence à des systèmes non OSG du SFS notifiées avant le 18 novembre 1995, quand la coordination n'était pas nécessaire, aucune coordination n'est requise si les caractéristiques de l'assignation de fréquence modifiée restent dans les limites de celles de l'assignation d'origine notifiée;
- j) que l'UIT-R ne dispose actuellement d'aucune méthode permettant de déterminer si des modifications apportées aux caractéristiques d'un système non OSG du SFS amélioreront ou détérioreront la situation de partage avec un autre système non OSG du SFS,

recommande

- 1 que la méthode de l'Annexe 1 soit utilisée pour aider les concepteurs de systèmes non OSG du SFS à évaluer l'incidence de diverses techniques de réduction des brouillages;
- 2 que la méthode de l'Annexe 1 soit utilisée (par exemple par les administrations et les concepteurs de systèmes) comme un moyen permettant de déterminer si une modification apportée à la conception d'un système non OSG du SFS améliorera ou détériorera l'environnement de brouillage subi par un autre système non OSG du SFS partageant la même bande de fréquences.

ANNEXE 1

Méthode d'évaluation de l'environnement de brouillage créé par un système non OSG du SFS

1 Introduction

On propose ici une procédure permettant d'évaluer de quelle manière des modifications apportées à un système non OSG du SFS affectent l'environnement de brouillage que crée ce système et que subit un autre système non OSG du SFS. Il est reconnu que le système brouillé dispose d'un grand degré de liberté sur le plan opérationnel dans la mesure où sont respectés les paramètres notifiés du système, compte tenu des contraintes imposées par les systèmes précédemment notifiés. Afin de tirer des conclusions générales des modifications apportées à un système, la procédure ci-après doit être appliquée de manière séparée, en utilisant tous les paramètres d'émission disponibles pour les deux systèmes. De plus, le système brouillé peut utiliser une stratégie de réduction des brouillages s'appuyant sur de nombreuses techniques de réduction combinées de diverses manières, afin de traiter chacun des quatre scénarios de brouillage. On peut résumer cette procédure par les étapes suivantes:

Etape 1: Déterminer la stratégie de réduction des brouillages que doit adopter (par exemple, utilisation des angles d'évitement) un système donné pour se protéger, dans chacun des quatre scénarios de brouillages, contre les brouillages causés par un système précédemment notifié et subissant des modifications.

Etape 2: Calculer, au sein de la zone de service du système considéré, la visibilité, les transferts entre satellites, le temps de poursuite d'un satellite ou d'autres statistiques de qualité de fonctionnement, en utilisant la stratégie de réduction des brouillages déterminée lors de l'Etape 1.

Etape 3: Répéter les Etapes 1 et 2, en remplaçant les paramètres du système précédemment considéré par ceux du nouveau système.

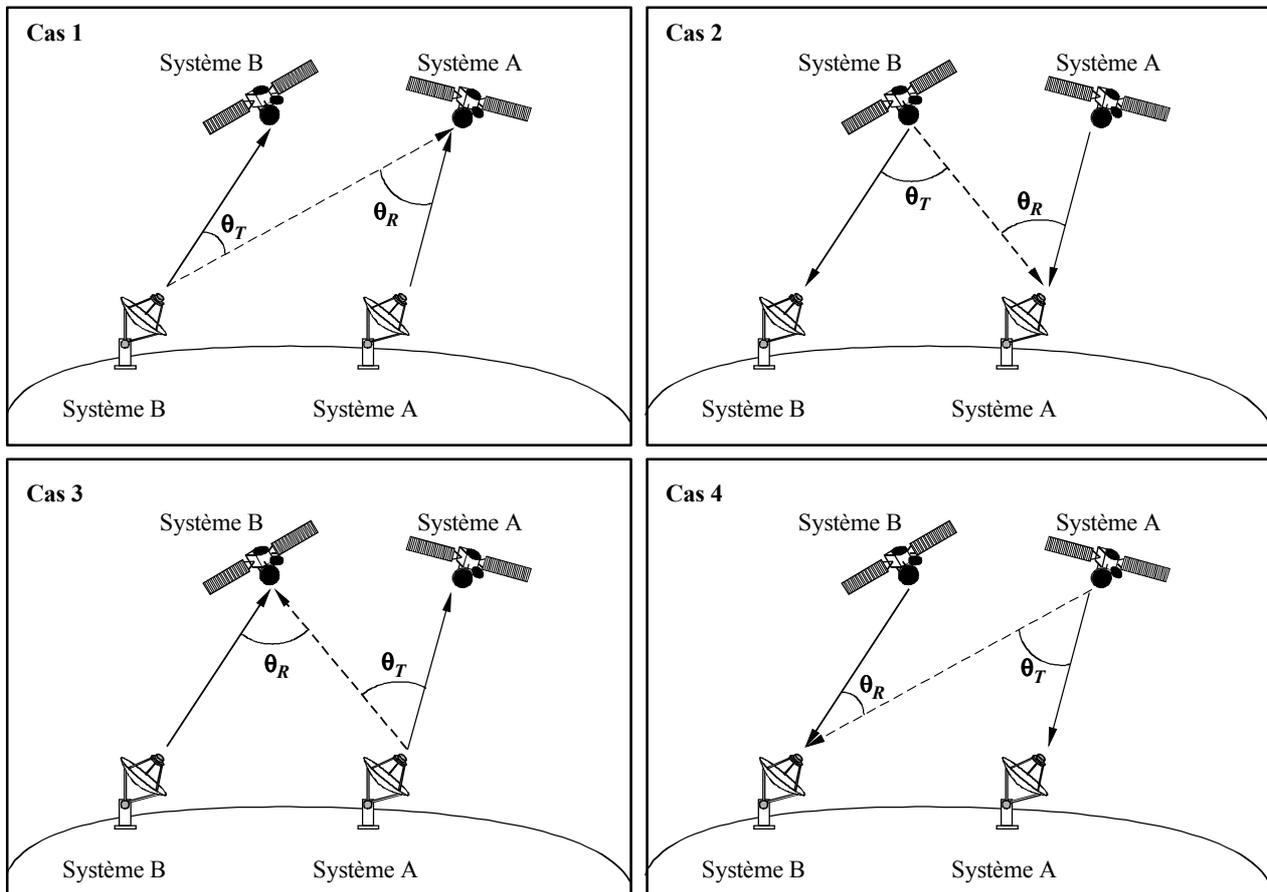
Etape 4: Comparer les statistiques de qualité de fonctionnement du système considéré avant et après les modifications apportées à l'autre système.

Etape 5: Si toutes les données statistiques sont meilleures, conclure que la modification de conception a facilité le partage pour le système considéré.

Etape 6: Si toutes les données statistiques ne sont pas meilleures, il n'est pas possible de tirer de conclusions immédiates sur la situation de partage. Il peut alors s'avérer judicieux de procéder à une analyse approfondie des résultats, en s'appuyant par exemple sur la latitude, ou la latitude pondérée par les chiffres de la population ou du produit intérieur brut (PIB).

Les quatre scénarios de brouillages mentionnés à l'Etape 1 sont décrits sur la Fig. 1 ci-après. θ_T est l'angle de discrimination en émission (c'est-à-dire l'angle hors axe entre le trajet du signal émis et le trajet du signal brouilleur), alors que θ_R est l'angle de discrimination en réception.

FIGURE 1
Quatre scénarios de brouillage



1526-01

Des statistiques particulières caractéristiques de la visibilité, des transferts entre satellites et du temps de poursuite d'un satellite sont données dans l'exemple ci-après.

On peut également déduire de cet exemple de plus amples précisions sur la façon dont les statistiques de visibilité peuvent être pondérées par les chiffres de la population ou du PIB.

2 Exemple: Incidences sur le système USAMEO-1 de modifications apportées au système LEOSAT-1

On illustre ici par un exemple particulier l'application de la méthode à un cas où l'on suppose que le système USAMEO-1 utilise la technique de diversité de satellite pour réduire les brouillages, les deux systèmes s'appuyant sur la Recommandation UIT-R S.1323 pour déterminer les angles d'évitement. Les statistiques de qualité de fonctionnement choisies ici sont la visibilité, les transferts entre satellites et le temps de poursuite d'un satellite. On pourrait également considérer d'autres statistiques de qualité de fonctionnement.

2.1 Paramètres du système LEOSAT-1 et hypothèses

Les caractéristiques de base modélisant le système LEOSAT-1 sont résumées dans le Tableau 1a.

TABLEAU 1a
Caractéristiques du système LEOSAT-1

Caractéristiques	LEOSAT-1
<i>Paramètres de la constellation</i>	
Nombre de satellites	288
Nombre de plans	12
Nombre de satellites par plan	24
Espacement entre plans (degrés)	15,36
Facteur de phase de Walker	Sans objet
Inclinaison (degrés)	84,7
Altitude d'orbite (km)	1 375
Déphasage inter-plan (degrés)	Aléatoire
Angle du masque d'élévation (degrés)	40
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante</i>	
Méthode d'accès	MF/AMRT
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	3,096
Commande de puissance	Oui
Valeur de la commande de puissance (dB)	13,5
Gain maximum d'émission de la station terrienne (dB)	35,2
Diagramme de l'antenne d'émission de la station terrienne	Appendice 8 du RR
Diamètre de l'antenne d'émission de la station terrienne (m)	0,3
Gain maximum de réception du satellite (dB)	33,2
Diagramme de l'antenne de réception du satellite	-3 en limite de zone de couverture, -25 en lobe latéral proche, -30 en lobe latéral éloigné
Le faisceau reçu est-il adapté à une taille de cellule constante?	Oui
Température de bruit (K)	832
Nombre de faisceaux reçus	364/polarisation
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante</i>	
Méthode d'accès	AMRT asynchrone
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	500
Commande de puissance	Non
Gain maximum de réception de la station terrienne (dB)	34,1
Diagramme de l'antenne de réception de la station terrienne	Appendice 8 du RR

TABLEAU 1a (suite)

Caractéristiques	LEOSAT-1
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante (suite)</i>	
Diamètre de l'antenne de réception de la station terrienne (m)	0,3
Gain maximum d'émission du satellite (dB)	de 34,7 à 35,7
Diagramme de l'antenne d'émission du satellite	-0,5 en limite de la zone de couverture, -25 en lobe latéral proche, -30 en lobe latéral éloigné
p.i.r.e. d'émission du satellite en limite de la zone de couverture (dB)	53,9
Le faisceau émis est-il adapté à une taille de cellule constante?	Oui
Température de bruit (K)	288
Nombre de faisceaux émis	16

AMRT: accès multiple par répartition dans le temps

MF: modulation de fréquence

p.i.r.e.: puissance isotrope rayonnée équivalente

Le Tableau 1b présente les paramètres de base du système pour deux configurations fictives du système LEOSAT-1, désignées par LEO-XX et LEO-YY. Chacune d'elle compte moins de la moitié du nombre de satellites que recense le système LEOSAT-1. Dans la configuration LEO-XX, on parvient à cette diminution du nombre de satellites par le maintien de l'angle d'élévation minimal et de la configuration quasi polaire, et par l'accroissement simultané de l'altitude à 2 500 km. Dans le cas LEO-YY, la diminution du nombre de satellites est obtenue par le maintien de la même altitude et la diminution de l'angle du masque d'élévation à 25°, ainsi que par le choix d'une configuration orbitale Delta Walker.

TABLEAU 1b

Caractéristiques des systèmes LEO-XX et LEO-YY

Caractéristiques	LEO-XX	LEO-YY
<i>Paramètres de la constellation</i>		
Nombre de satellites	128	120
Nombre de plans	8	10
Nombre de satellites par plan	16	12
Espacement entre plans (degrés)	23	36
Facteur de phase de Walker	Sans objet	1
Inclinaison (degrés)	84,7	58
Altitude d'orbite (km)	2 500	1 375
Déphasage inter-plan (degrés)	Aléatoire	3
Angle du masque d'élévation (degrés)	40	25
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante</i>		
Méthode d'accès	MF/AMRT	AMRF/AMRT
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	3,1	3,1

TABLEAU 1b (suite)

Caractéristiques	LEO-XX	LEO-YY
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante (suite)</i>		
Commande de puissance	Oui	Oui
Valeur de la commande de puissance (dB)	13,5	13,5
Gain maximum d'émission de la station terrienne (dB)	39,4	39,4
Diagramme de l'antenne d'émission de la station terrienne	Appendice 8 du RR	Appendice 8 du RR
Diamètre de l'antenne d'émission de la station terrienne (m)	0,4	0,4
Gain maximum de réception du satellite (dB)	37,1 avec ajustements pour l'affaiblissement en espace libre et les pertes de balayage	36,0 avec ajustements pour l'affaiblissement en espace libre et les pertes de balayage
Diagramme de l'antenne de réception du satellite	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, largeur de bande = 2°	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, largeur de bande = $2,3^\circ$
Le faisceau reçu est-il adapté à une taille de cellule constante?	Non	Non
Température de bruit (K)	832	832
Nombre de faisceaux reçus	364/polarisation	364/polarisation
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante</i>		
Méthode d'accès	AMRT asynchrone	AMRT asynchrone
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	500	500
Commande de puissance	Non	Non
Gain maximum de réception de la station terrienne (dB)	36,6	36,6
Diagramme de l'antenne de réception de la station terrienne	Appendice 8 du RR	Appendice 8 du RR
Diamètre de l'antenne de réception de la station terrienne (m)	0,4	0,4
Gain maximum d'émission du satellite (dB)	37,2 avec ajustements pour l'affaiblissement en espace libre et les pertes de balayage	36,1 avec ajustements pour l'affaiblissement en espace libre et les pertes de balayage
Diagramme de l'antenne d'émission du satellite	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, largeur de bande = 2°	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, largeur de bande = $2,3^\circ$
p.i.r.e. d'émission du satellite en limite de la zone de couverture (dB)	57,7	54,6
Le faisceau émis est-il adapté à une taille de cellule constante?	Non	Non
Température de bruit (K)	288	288
Nombre de faisceaux émis	16	16

AMRF: accès multiple par répartition en fréquence

2.2 Paramètres du système USAMEO-1 et hypothèses

2.2.1 Caractéristiques de base

Dans cet exemple, on a sélectionné à des fins d'analyse une liaison particulière du système USAMEO-1. Le Tableau 2 synthétise les caractéristiques de base de ce modèle.

TABLEAU 2
Caractéristiques du système USAMEO-1

<i>Paramètres de la constellation</i>	
Nombre de satellites	32
Nombre de plans (pour chacune des 2 sous-constellations)	4 (\times 2 sous-constellations)
Nombre de satellites par plan	4
Espacement entre plans (degrés)	90
Facteur de phase de Walker	3
Inclinaison (degrés)	50
Altitude d'orbite (km)	10 352
Déphasage inter-plan (degrés)	67,5
Phase Delta entre les sous-constellations (degrés)	30
Noeud ascendant Delta entre les sous-constellations (degrés)	0
Angle du masque d'élévation (degrés)	20
<i>Paramètres d'émission sur la liaison montante</i>	
Méthode d'accès	AMRT/AMRF
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	0,562
Commande de puissance	Oui
Valeur de la commande de puissance (dB)	20,7
Gain maximum d'émission de la station terrienne (dB)	44,16
Diagramme de l'antenne d'émission de la station terrienne	Rec. UIT-R S.465
Diamètre de l'antenne d'émission de la station terrienne (m)	0,65
Gain maximum de réception du satellite (dB)	37,48
Diagramme de l'antenne de réception du satellite	Rec. UIT-R S.672, largeur de bande = 2,3°, $L_N = -25$ dB
Le faisceau reçu est-il adapté à une taille de cellule constante?	Non
Température de bruit (K)	577,98
Nombre de faisceaux reçus	20
<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante</i>	
Méthode d'accès	MRT/MRF
Largeur de bande de la porteuse (MHz)	96,162
Commande de puissance	Non
Gain maximum de réception de la station terrienne (dB)	40,78

TABLEAU 2 (suite)

<i>Paramètres d'émission sur la liaison descendante (suite)</i>	
Diagramme de l'antenne de réception de la station terrienne	Rec. UIT-R S.465
Diamètre de l'antenne de réception de la station terrienne (m)	0,65
Gain maximum d'émission du satellite (dB)	37,5
Diagramme de l'antenne d'émission du satellite	(identique à celui relatif à la liaison montante)
p.i.r.e. d'émission du satellite en limite de la zone de couverture (dB)	52,3
Le faisceau émis est-il adapté à une taille de cellule constante?	Non
Température de bruit (K)	249,41
Nombre de faisceaux émis	20

MRT: multiplexage par répartition dans le temps

MRF: multiplexage par répartition en fréquence

2.2.2 Utilisation des fréquences

Pour le système USAMEO-1, on se propose d'utiliser 1 GHz de spectre dans les bandes 28,6-29,1 GHz et 29,5-30,0 GHz sur la liaison montante, et 1 GHz de spectre dans les bandes 18,8-19,3 GHz et 19,7-20,2 GHz sur la liaison descendante. Les bandes de fréquences sont divisées en canaux de 125 MHz. On suppose qu'il est possible d'assigner plusieurs canaux au même faisceau étroit dans le cas le plus défavorable de pointe de trafic, afin de couvrir le chevauchement de 500 MHz avec le spectre de LEOSAT-1 (XX, YY).

2.2.3 Modèle d'antenne de satellite et de station terrienne

Le satellite utilise des faisceaux étroits fixes d'émission et de réception. Les antennes et les faisceaux sont maintenus dans une direction fixe par rapport au satellite, afin de permettre un balayage de la surface de la Terre par les faisceaux à mesure que se déplace le satellite. Même si les faisceaux restent fixes par rapport au satellite, la simulation utilise des faisceaux de poursuite pour chaque station terrienne, de façon que soit pris en compte le cas de brouillage le plus défavorable. L'antenne du satellite est modélisée suivant les indications de la Recommandation UIT-R S.672, avec une ouverture de faisceau à mi-puissance de $2,3^\circ$ et un niveau de lobe latéral de -25 dB.

On modélise 20 stations d'utilisateurs dans l'empreinte pour le cas de brouillages sur la liaison montante. La distance de séparation entre les stations terriennes est d'environ 728 km.

On calcule les brouillages sur la liaison descendante en utilisant une distribution aléatoire des positions des stations terriennes dans chaque empreinte du satellite. Ces positions sont distribuées aléatoirement à chaque itération de la simulation. Le nombre de stations distribuées correspond au nombre maximum de faisceaux sur la liaison descendante que peut supporter le satellite. Dans le cas où le satellite est choisi pour desservir l'emplacement considéré aux fins de calcul des brouillages (par exemple, le satellite ayant l'élévation la plus élevée), on assigne à cet emplacement une position de station terrienne.

L'antenne de la station terrienne est modélisée suivant les indications de la Recommandation UIT-R S.465, qui présente un niveau de lobe latéral de $32 - 25 \log_{10}(\varphi)$, où φ est l'angle de dépointage (degrés).

2.2.4 Hypothèses relatives au bilan de liaison et aux dégradations dues à la pluie

Le bilan de liaison présenté dans le Tableau 3 s'applique au modèle du système USAMEO-1.

TABLEAU 3

Bilan de liaison du système USAMEO-1

Elévation minimale (degrés)	20	
Distance oblique (km)	13 438,27	
	<i>Liaison montante</i>	<i>Liaison descendante</i>
Fréquence (GHz)	28,85	19,05
Largeur de bande (MHz)	0,56	96,16
Espacement des canaux (MHz)	0,69	125,00
Réduction/pertes de puissance (dBW)	7,07	14,82
Gain à l'émission (dB)	44,16	37,50
<i>p.i.r.e. (dBW)</i>	<i>51,23</i>	<i>52,32</i>
Pertes par pointage à l'émission (dB)	0,65	0,50
Affaiblissement en espace libre (dB)	204,22	200,61
Affaiblissement dû à l'atmosphère (dB)	1,57	2,10
<i>Perte totale de propagation (dB)</i>	<i>206,44</i>	<i>203,21</i>
Température du système (K)	577,98	249,41
Gain à la réception (dB)	37,48	40,78
Pertes à la réception (dB)	0,98	0,50
Pertes en bord de faisceau (dB)	4,10	4,10
<i>G/T (dB/K)</i>	<i>4,78</i>	<i>12,21</i>
<i>Porteuse de réception (C) (dBW)</i>	<i>-122,81</i>	<i>-114,71</i>
<i>N (dBW)</i>	<i>-143,48</i>	<i>-124,80</i>
<i>C/N (dB)</i>	<i>20,67</i>	<i>10,09</i>
Dégradation due à l'autobrouillage (dB)	8,21	1,13
<i>C/(N + I)</i> requis (dB)	<i>12,05</i>	<i>8,8</i>
Marge (dB)	0,41	0,16

La dégradation due à l'autobrouillage ($C/N - C/(N + I_s)$) est fondée sur le rapport $C/I_s = 13,17$ dB pour la liaison montante et 15,34 dB pour la liaison descendante, I_s représentant l'autobrouillage. Cette valeur de la dégradation due à l'autobrouillage est appliquée aux valeurs de la dégradation due aux brouillages externes ($1 + I_x/N$) calculées à partir des valeurs de brouillage recueillies durant les simulations (I_x représente les brouillages externes). Cela est nécessaire parce que la distribution I/N utilisée dans la méthode de convolution de la Recommandation UIT-R S.1323 doit se fonder sur $I_x/(N + I_s)$ plutôt que sur I_x/N ($N = N_{thermal}$).

D'après les bilans de liaison fournis par les applications de la FCC, la marge externe sur la liaison montante est de 0,41 dB par ciel clair et de 1,2 dB par temps de pluie (pertes dues à la pluie = 7,2 dB), en utilisant un code adaptatif. De plus, le rapport C/I_s en présence d'évanouissements dus à la pluie est égal à 9,77 dB, ce qui est inférieur à la valeur de 13,17 par ciel clair. Cette valeur de C/I en présence d'évanouissements dus à la pluie s'explique par le fait que la porteuse utile et l'ensemble des brouillages subissent des types d'évanouissements différents. Le paramètre δ , fraction de I sans évanouissements, défini dans l'Annexe 2 traite cet effet. Pour cette liaison, $\delta = 0,28$. On considère en fait que la liaison montante est susceptible de supporter 7,2 dB d'évanouissements dus à la pluie avant que la liaison ne commence à se détériorer, avec une marge de 1,2 dB. Cette valeur d'évanouissements dus à la pluie correspond à $X = 4,24$ dB, ce qui définit l'impulsion au centre de la fonction de densité de probabilité pour X' (X' étant la dégradation due à la pluie qui tient compte de la commande de puissance, voir l'Annexe 2).

Pour la liaison descendante, la marge externe est de 0,16 dB par ciel clair et de 1,1 dB par temps de pluie (pertes dues à la pluie = 3,3 dB), en utilisant à nouveau le codage adaptatif. On considère que la liaison descendante est à même de supporter 3,3 dB d'évanouissements dus à la pluie avant que la liaison ne commence à se détériorer, avec une marge de 1,1 dB. Cette valeur d'évanouissements dus à la pluie correspond à $X = 4,46$; elle est utilisée pour déterminer la valeur de l'impulsion à l'origine de la fonction de densité de probabilité de X' (voir l'Annexe 2).

Le Tableau 4 résume les hypothèses formulées pour générer la fonction de densité de probabilité de la dégradation due à la pluie. On convolue les fonctions de densité de probabilité de dégradation due à la pluie et de dégradation due aux brouillages pour déterminer si les brouillages se situent ou non à un niveau acceptable. Le paramètre α représente le pourcentage d'augmentation du bruit dû à l'autobrouillage ($I_s/N + I_s$); il est utilisé pour lier la dégradation due à la pluie aux évanouissements dus à la pluie, à partir du modèle de pluie indiqué.

TABLEAU 4

Hypothèses formulées pour la génération de la fonction de densité de probabilité relative à la dégradation due à la pluie

Direction de la liaison	α	Début de la détérioration de la liaison		Marge (dB)	Localisation de la liaison
		Evanouissements dus à la pluie (dB)	Dégradation due à la pluie (dB)		
Montante	0,85	7,2	4,24	1,2	New York
Descendante	0,23	3,3	4,46	1,1	New York

2.3 Résultats de la simulation

Des simulations séparées ont été effectuées pour le système USAMEO-1 exploité avec chacun des systèmes suivants:

- LEOSAT-1 (288 satellites, constellation polaire, élévation minimale de 40°).
- LEO-XX (128 satellites, constellation polaire, élévation minimale de 40°).
- LEO-YY (120 satellites, constellation Delta Walker, élévation minimale de 25°).

Pour chaque jeu de simulations, on a recueilli les données correspondant aux quatre cas de brouillage. On trouvera dans le Tableau 5 la définition de chacun de ces cas.

TABLEAU 5

Définition des cas de brouillage

Cas	Direction de la liaison	Rôle du système USAMEO-1
1	Montante	Brouilleur
2	Descendante	Brouilleur
3	Montante	Système utile
4	Descendante	Système utile

Sauf indication contraire, les simulations ont été conduites durant deux jours, avec des intervalles de 1 s (172 800 itérations). On a supposé que plusieurs satellites couvraient chaque emplacement, lorsque cette couverture était possible. Pour les simulations de brouillage et de capacité de couverture (visibilité), les positions des constellations des deux systèmes ont été déterminées aléatoirement à chaque itération. Dans le cas des simulations de transferts entre satellites et de temps de poursuite d'un satellite, on a simulé une propagation continue des constellations toutes les secondes.

Chaque courbe ci-dessous indique les fonctions de distribution cumulative (cdf, *cumulative distribution function*) $I_x/(N+I_s)$ pour divers angles d'évitement, ainsi que les résultats correspondants relatifs à la convolution des fonctions de densité de probabilité de dégradation due à la pluie et de dégradation due aux brouillages. On a effectué plusieurs passes de simulation pour déterminer l'angle d'évitement nécessaire pour satisfaire aux critères de la Recommandation UIT-R S.1323, en supposant que 10% des interruptions de liaison étaient consécutifs aux brouillages externes.

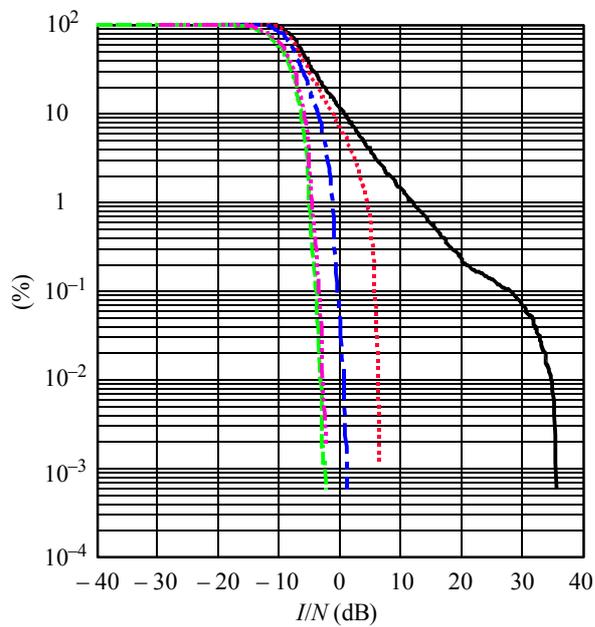
2.3.1 Résultats relatifs au système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEOSAT-1

Puisque le système visant à la réduction des brouillages est en orbite moyenne (MEO) et que l'autre système est en orbite basse (LEO), il convient, pour fournir les protections nécessaires, d'utiliser un angle d'évitement fondé sur une station spatiale dans les cas 2 et 3, ou sur une station terrienne, dans les cas 1 et 4. Les valeurs angulaires indiquées sur les Fig. 2 et 3 correspondent respectivement à des angles fondés sur une station spatiale ou une station terrienne.

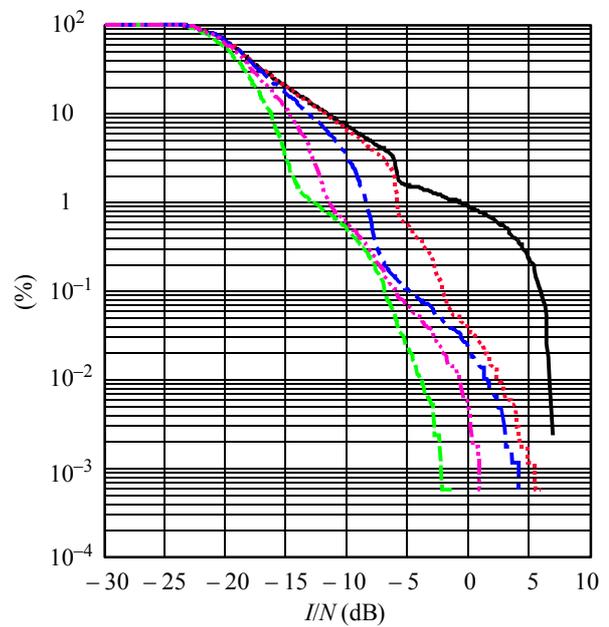
Afin de se protéger dans les quatre cas de brouillage, le système visant à la réduction des brouillages doit utiliser un angle d'évitement fondé sur une station terrienne de $16,0^\circ$, et un angle d'évitement fondé sur une station spatiale de $0,5^\circ$.

Les incidences sur le système cherchant à réduire les brouillages sont indiquées sur la Fig. 4 – courbe relative à la visibilité (c'est-à-dire nombre de satellites utilisables répondant aux critères de masque d'élévation et de réduction des brouillages) et sur la Fig. 5 – courbes relatives aux transferts entre satellites (connexions) en fonction des nouveaux satellites, et la station terrienne moyenne en fonction du temps de poursuite d'un satellite (temps de poursuite) d'un faisceau pointé sur un satellite.

FIGURE 2
cdf de I/N , système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEOSAT-1 sur les liaisons montante et descendante

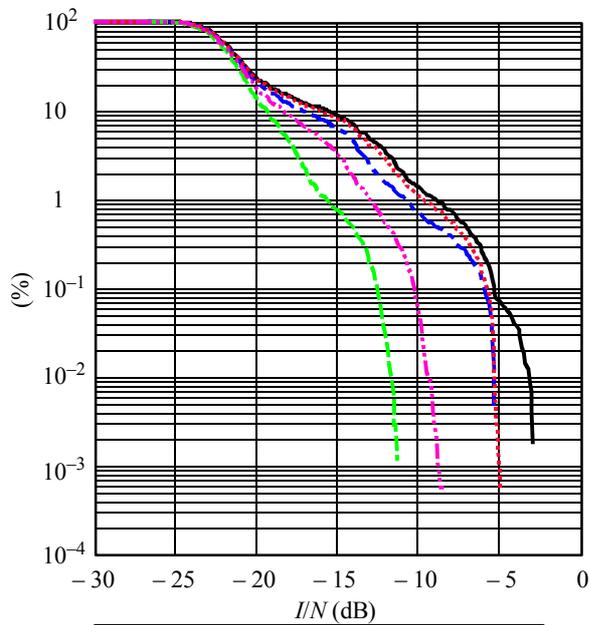


Seuil = 0,0854 %	
Angle d'évitement	$P(z > 2,0 \text{ dB})$
— 0,0°	18,96440% d'échec
... 5,0°	13,71494% d'échec
- - 10,0°	4,37449% d'échec
- · - 15,0°	0,08597% d'échec
- - - 16,0°	0,08356% de réussite

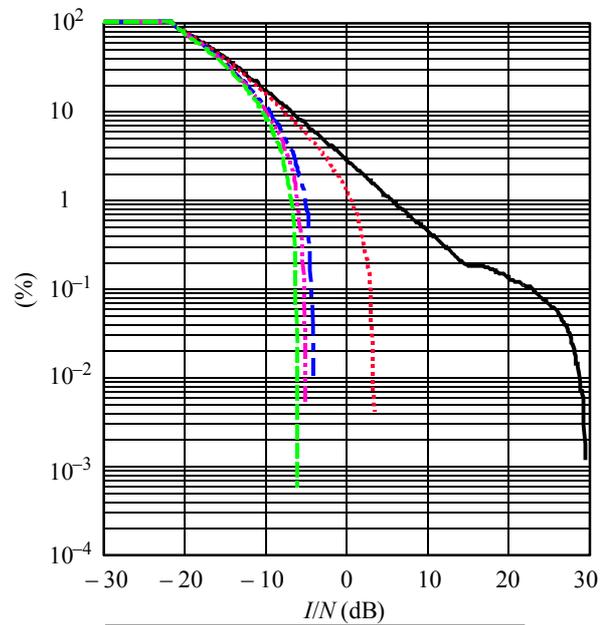


Seuil = 0,041285 %	
Angle d'évitement	$P(z > 9,7 \text{ dB})$
— 0,0°	0,03958% de réussite
... 0,5°	0,03825% de réussite
- - 1,0°	0,03793% de réussite
- · - 1,5°	0,03773% de réussite
- - - 2,0°	0,03760% de réussite

FIGURE 3
 cdf de I/N , système LEOSAT-1 dans l'environnement de brouillage créé
 par le système USAMEO-1 sur les liaisons montante et descendante



Seuil = 0,14334%	
Angle d'évitement	$P(z > 1,2 \text{ dB})$
— 0,0°	0,20289% d'échec
⋯ 0,5°	0,13230% de réussite
- - 1,0°	0,13036% de réussite
⋯ 1,5°	0,13005% de réussite
- - 2,0°	0,12985% de réussite



Seuil = 0,13713%	
Angle d'évitement	$P(z > 1,1 \text{ dB})$
— 0,0°	7,88489% d'échec
⋯ 5,0°	6,32956% d'échec
- - 10,0°	1,68909% d'échec
⋯ 11,0°	0,45743% d'échec
- - 12,0°	0,12982% de réussite

FIGURE 4

Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEOSAT-1 sur la visibilité du système USAMEO-1

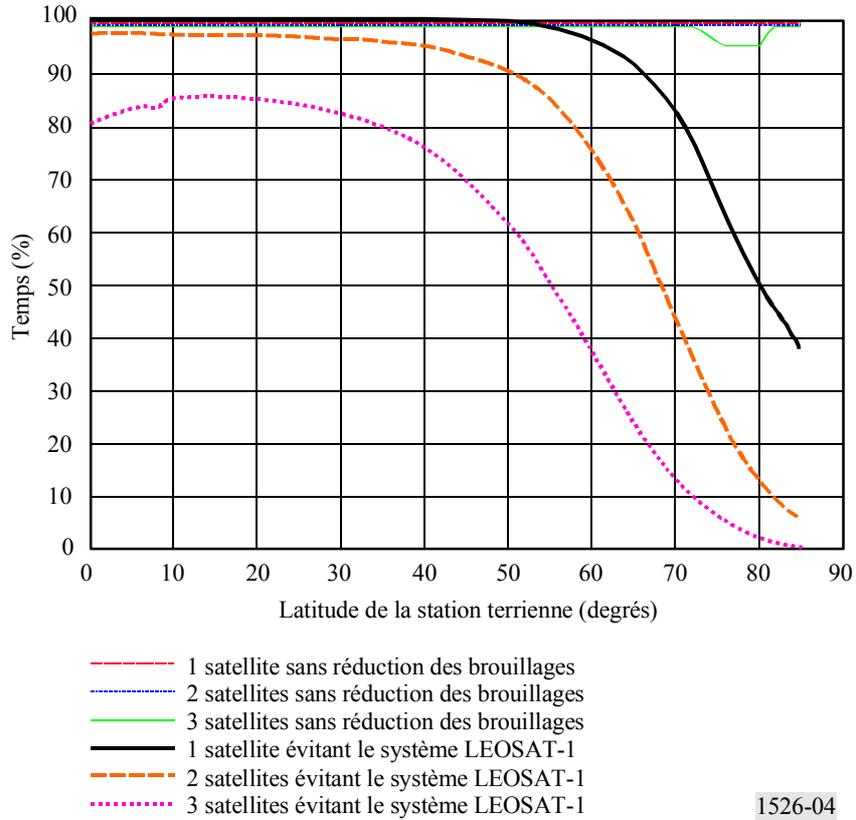
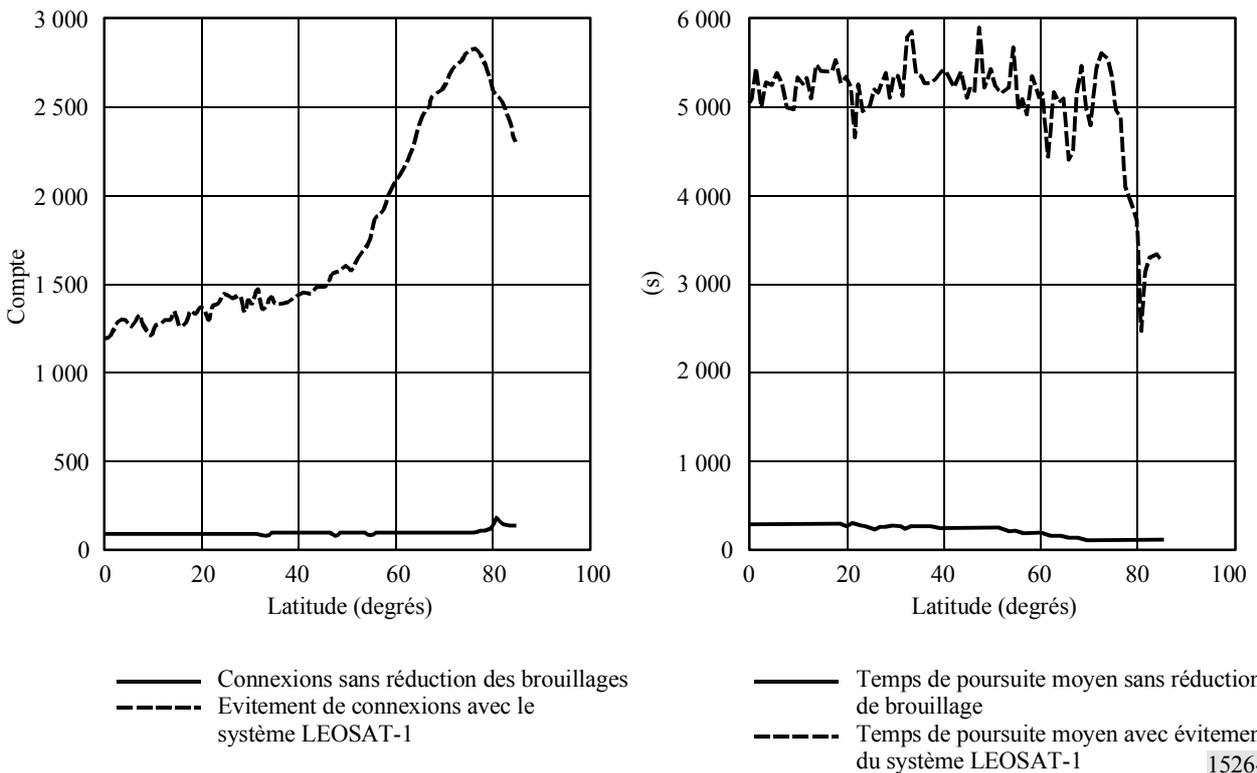


FIGURE 5

Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEOSAT-1 sur les transferts entre satellites et le temps de poursuite moyen d'un satellite relatifs au système USAMEO-1



Les Tableaux 6 et 7 montrent les effets de la pondération des statistiques de visibilité par la distribution de population et de PIB (d'après les estimations de 1999).

TABLEAU 6

Pourcentage de la population mondiale bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEOSAT-1

Centile	Couverture sans réduction des brouillages			Couverture avec réduction des brouillages		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
99	100,00	100,00	100,00	94,99	0,00	0,00
95	100,00	100,00	100,00	99,71	79,95	0,00
90	100,00	100,00	100,00	99,89	93,81	0,00
80	100,00	100,00	100,00	99,99	99,01	67,57
50	100,00	100,00	100,00	100,00	99,94	98,22

TABLEAU 7

Pourcentage du PIB mondial bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEOSAT-1

Centile	Couverture sans réduction des brouillages			Couverture avec réduction des brouillages		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
99	100,00	100,00	100,00	88,06	0,00	0,00
95	100,00	100,00	100,00	99,37	52,44	0,00
90	100,00	100,00	100,00	99,83	84,36	0,00
80	100,00	100,00	100,00	99,99	97,89	28,96
50	100,00	100,00	100,00	100,00	99,91	96,73

2.3.2 Résultats relatifs au système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEO-XX

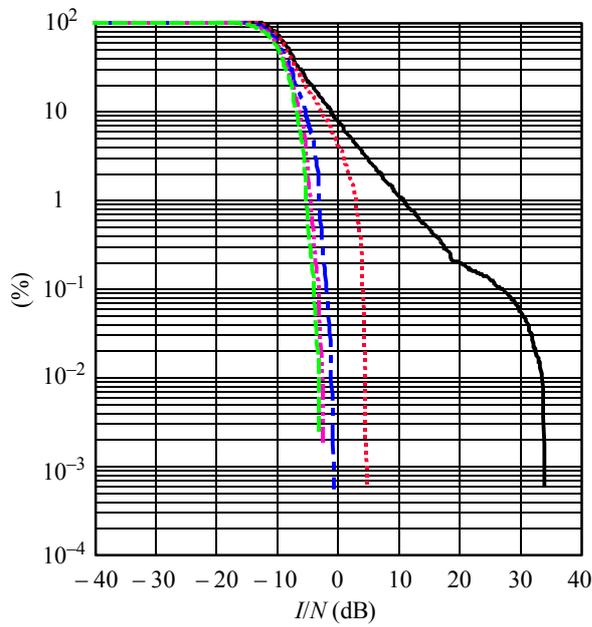
Puisque, comme pour le système LEOSAT-1, le système visant à la réduction des brouillages est en MEO et que l'autre système est en LEO, il convient, pour fournir les protections nécessaires, d'utiliser un angle d'évitement fondé sur une station spatiale dans les cas 2 et 3, ou sur une station terrienne, dans les cas 1 et 4. Les valeurs angulaires indiquées sur les Fig. 6 et 7 correspondent respectivement à des angles fondés sur une station spatiale ou une station terrienne.

Afin de se protéger dans les quatre cas de brouillage, le système visant à la réduction des brouillages doit utiliser un angle d'évitement fondé sur une station terrienne de 13,0° et un angle d'évitement fondé sur une station spatiale de 0,5°.

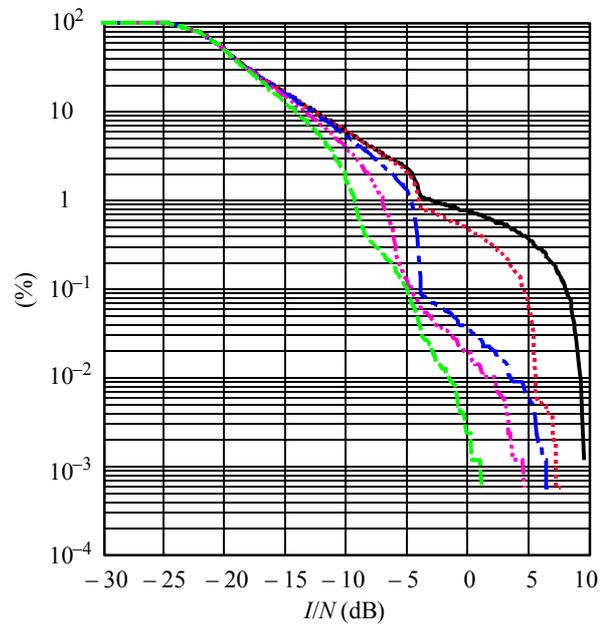
Les incidences sur le système cherchant à réduire les brouillages sont indiquées sur la Fig. 8 – courbe relative à la visibilité (c'est-à-dire nombre de satellites utilisables répondant aux critères de masque d'élévation et de réduction des brouillages) et sur la Fig. 9 – courbes relatives aux transferts entre satellites (connexions) en fonction des nouveaux satellites, et la station terrienne moyenne en fonction du temps de poursuite d'un satellite (temps de poursuite) d'un faisceau pointé sur un satellite.

FIGURE 6

cdf de I/N , système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEO-XX sur les liaisons montante et descendante

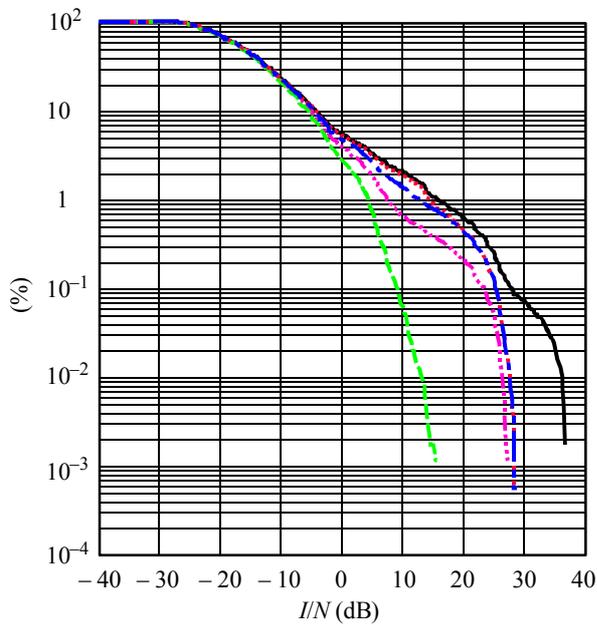


Seuil = 0,083269 %	
Angle d'évitement	$P(z > 2,0 \text{ dB})$
— 0,0°	13,58073% d'échec
⋯ 5,0°	9,62194% d'échec
- - 10,0°	0,40669% d'échec
- · - 12,0°	0,09106% d'échec
- - - 13,0°	0,08072% de réussite

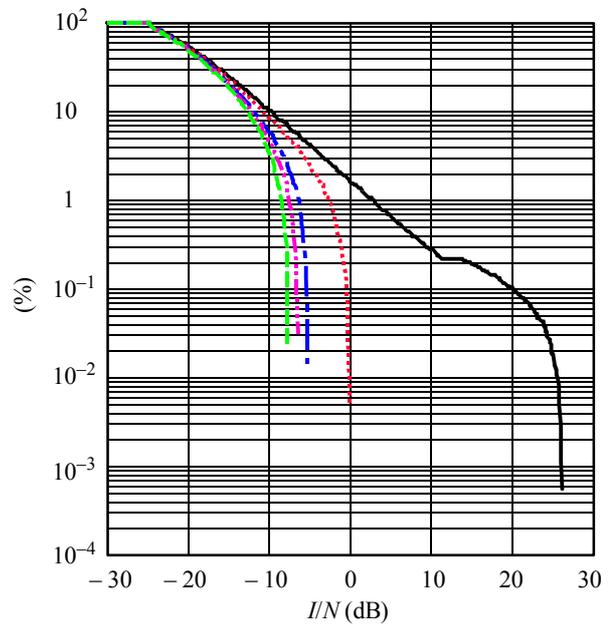


Seuil = 0,040297 %	
Angle d'évitement	$P(z > 9,7 \text{ dB})$
— 0,0°	0,06093% d'échec
⋯ 0,5°	0,03778% de réussite
- - 1,0°	0,03721% de réussite
- · - 1,5°	0,03701% de réussite
- - - 2,0°	0,03687% de réussite

FIGURE 7
 cdf de I/N , système LEO-XX dans l'environnement de brouillage créé
 par le système USAMEO-1 sur les liaisons montante et descendante



Seuil = 0,14334 %	
Angle d'évitement	$P(z > 1,2 \text{ dB})$
— 0,0°	0,20050% d'échec
⋯ 0,5°	0,12939% de réussite
- - 1,0°	0,12935% de réussite
- · - 1,5°	0,12927% de réussite
- - - 2,0°	0,12918% de réussite



Seuil = 0,13713 %	
Angle d'évitement	$P(z > 1,1 \text{ dB})$
— 0,0°	4,82810% d'échec
⋯ 5,0°	3,09127% d'échec
- - 8,0°	0,34125% d'échec
- · - 9,0°	0,12752% de réussite
- - - 10,0°	0,12705% de réussite

FIGURE 8
**Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEO-XX
 sur la visibilité du système USAMEO-1**

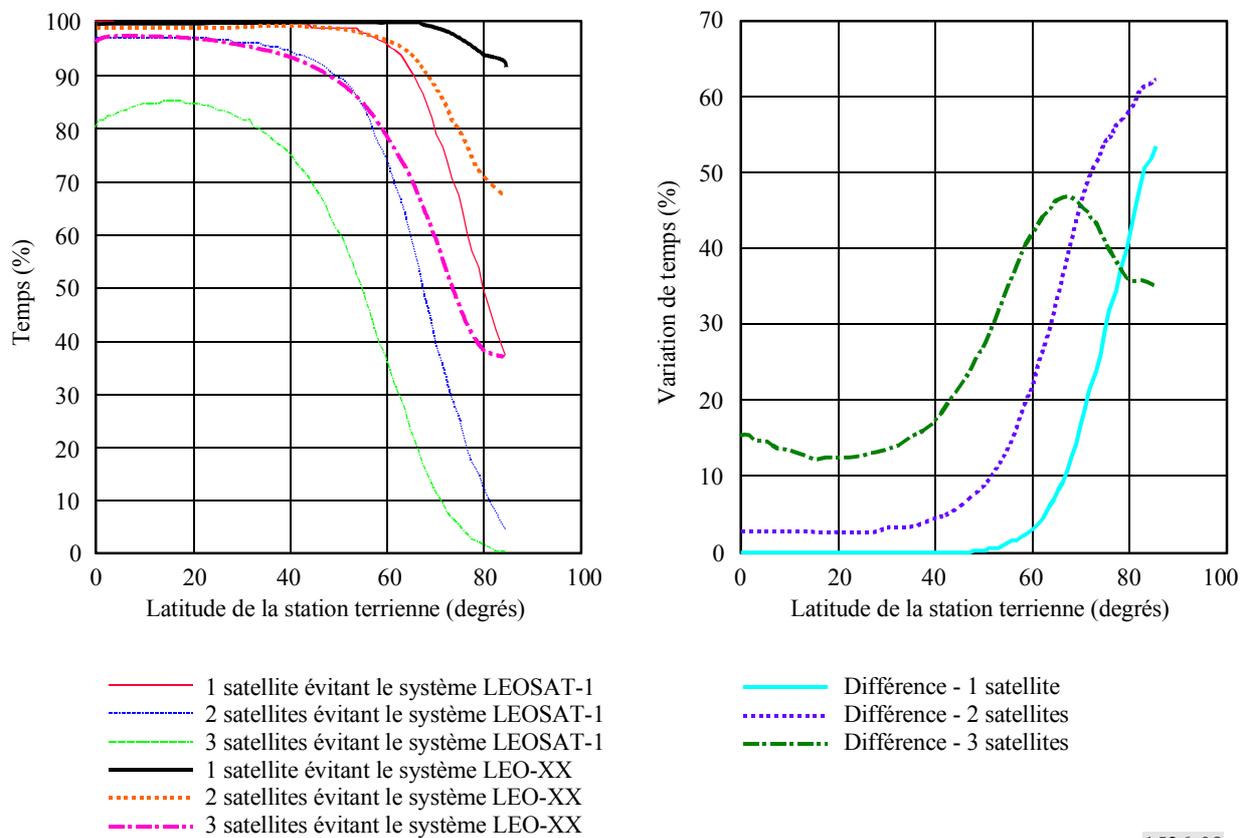
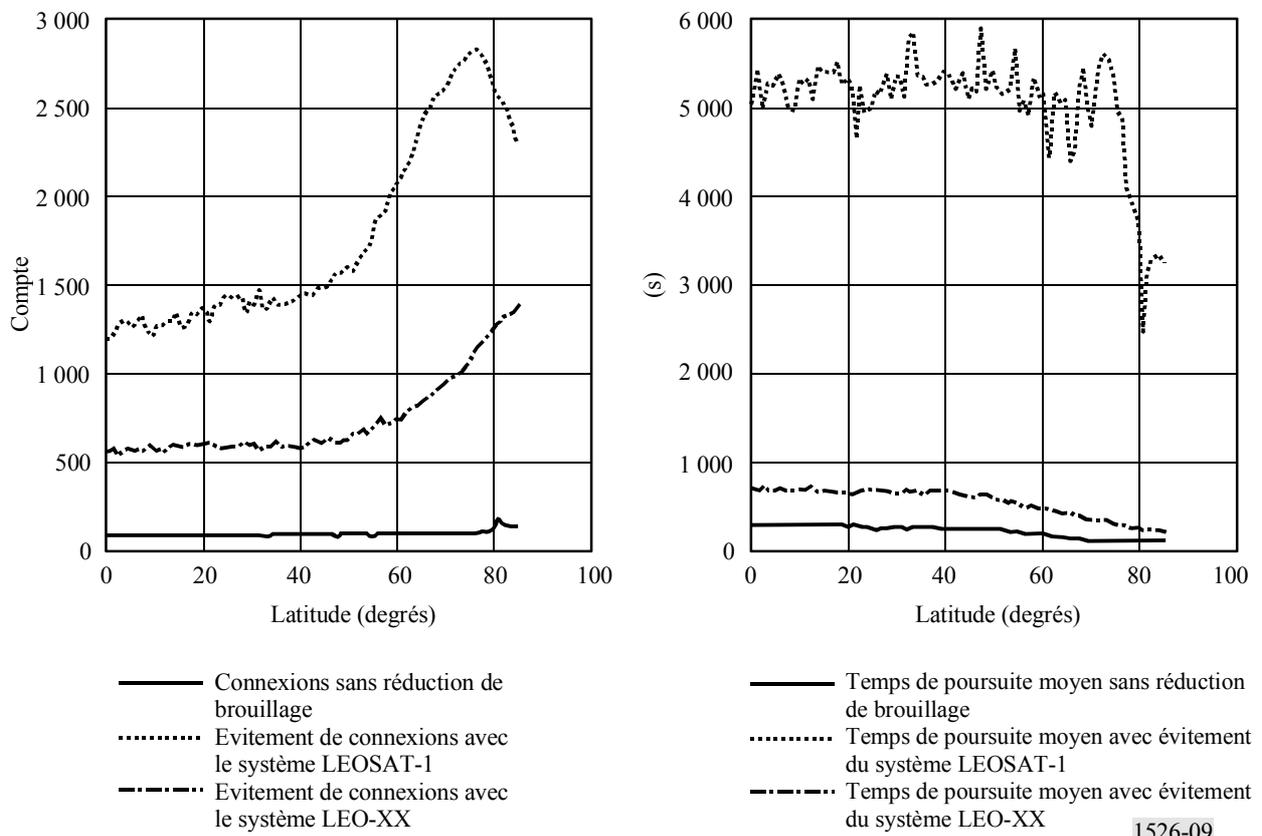


FIGURE 9

Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEO-XX sur les transferts entre satellites et le temps de poursuite moyen d'un satellite relatifs au système USAMEO-1



Les Tableaux 8 et 9 montrent les effets de la pondération des statistiques de visibilité par la distribution de population et de PIB (d'après les estimations de 1999).

TABLEAU 8

Pourcentage de la population mondiale bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEO-XX

Centile	Couverture			Modifications par rapport à la couverture du système LEOSAT-1		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99	99,98	85,47	0,00	4,99	85,47	0,00
95	100,00	99,82	61,87	0,29	19,87	61,87
90	100,00	99,96	90,79	0,11	6,15	90,79
80	100,00	100,00	99,39	0,01	0,99	31,83
50	100,00	100,00	100,00	0,00	0,06	1,78

TABLEAU 9

Pourcentage du PIB mondial bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEO-XX

Centile	Couverture			Modifications par rapport à la couverture du système LEOSAT-1		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99	99,97	64,36	0,00	11,92	64,36	0,00
95	100,00	99,67	20,39	0,63	47,23	20,39
90	100,00	99,94	76,54	0,17	15,58	76,54
80	100,00	100,00	98,58	0,01	2,11	69,62
50	100,00	100,00	100,00	0,00	0,09	3,27

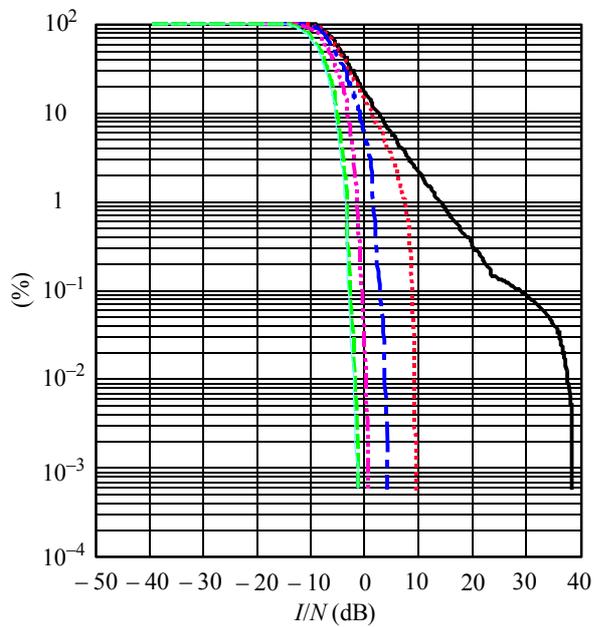
2.3.3 Résultats relatifs au système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé par le système LEO-YY

Une fois encore, puisque le système visant à la réduction des brouillages est en MEO et que l'autre système est en LEO, il convient, pour fournir les protections nécessaires, d'utiliser un angle d'évitement fondé sur une station spatiale dans les cas 2 et 3, ou sur une station terrienne, dans les cas 1 et 4. Les valeurs angulaires indiquées sur les Fig. 10 et 11 correspondent respectivement à des angles fondés sur une station spatiale ou une station terrienne.

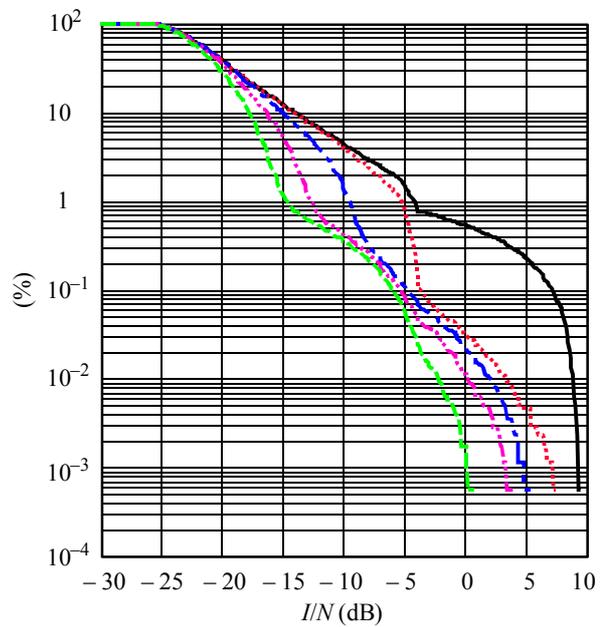
Afin de se protéger dans les quatre cas de brouillage, le système visant à la réduction des brouillages doit utiliser un angle d'évitement fondé sur une station terrienne de 21,0° et un angle d'évitement fondé sur une station spatiale de 0,5°.

Les incidences sur le système cherchant à réduire les brouillages sont indiquées sur la Fig. 12 – courbe relative à la visibilité (c'est-à-dire nombre de satellites utilisables répondant aux critères de masque d'élévation et de réduction des brouillages) et sur la Fig. 13 – courbes relatives aux transferts entre satellites (connexions) en fonction des nouveaux satellites, et la station terrienne moyenne en fonction du temps de poursuite d'un satellite (temps de poursuite) d'un faisceau pointé sur un satellite.

FIGURE 10
 cdf de I/N , système USAMEO-1 dans l'environnement de brouillage créé
 par le système LEO-YY sur les liaisons montante et descendante

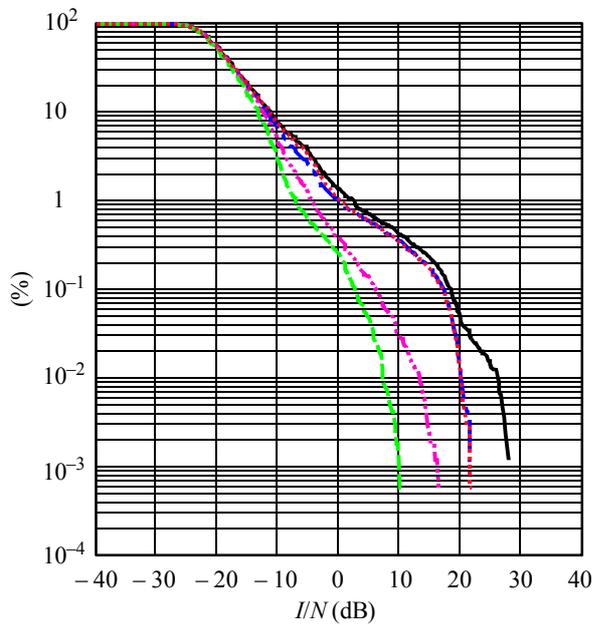


Seuil = 0,11446%		
Angle d'évitement	$P(z > 2,0 \text{ dB})$	
— 0,0°	26,6498%	d'échec
... 5,0°	22,77406%	d'échec
- - - 10,0°	14,65915%	d'échec
- · - · - 15,0°	2,03578%	d'échec
- - - 20,0°	0,12146%	d'échec
- - - 21,0°	0,11427%	de réussite

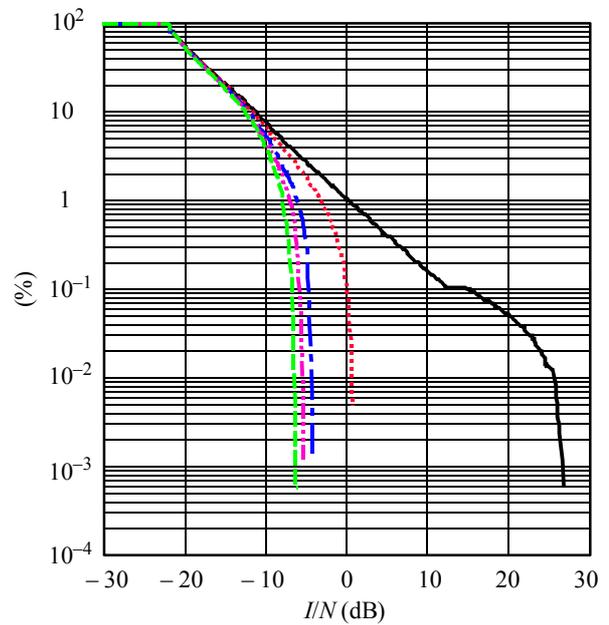


Seuil = 0,054603%		
Angle d'évitement	$P(z > 9,7 \text{ dB})$	
— 0,0°	0,06057%	d'échec
... 0,5°	0,05015%	de réussite
- - - 1,0°	0,04983%	de réussite
- · - · - 1,5°	0,04965%	de réussite
- - - 2,0°	0,04954%	de réussite

FIGURE 11
 cdf de I/N , système LEO-YY dans l'environnement de brouillage créé
 par le système USAMEO-1 sur les liaisons montante et descendante



Seuil = 0,14334 %	
Angle d'évitement	$P(z > 1,2 \text{ dB})$
— 0,0°	0,12912% de réussite
⋯ 0,5°	0,12910% de réussite
- - 1,0°	0,12909% de réussite
- · - 1,5°	0,12905% de réussite
- - - 2,0°	0,12904% de réussite



Seuil = 0,13713 %	
Angle d'évitement	$P(z > 1,1 \text{ dB})$
— 0,0°	3,29509% d'échec
⋯ 5,0°	2,38887% d'échec
- - 8,0°	0,85961% d'échec
- · - 9,0°	0,18050% d'échec
- - - 10,0°	0,12759% de réussite

FIGURE 12
**Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEO-YY
 sur la visibilité du système USAMEO-1**

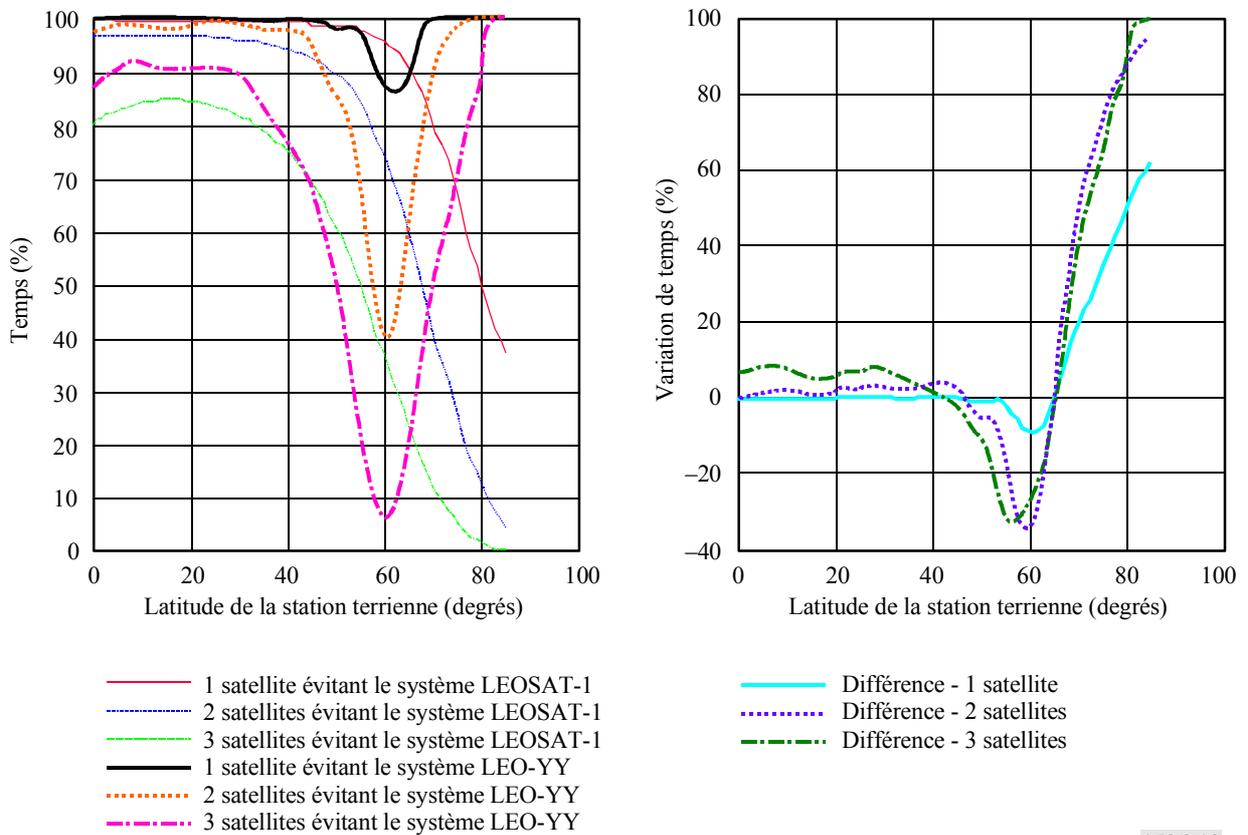
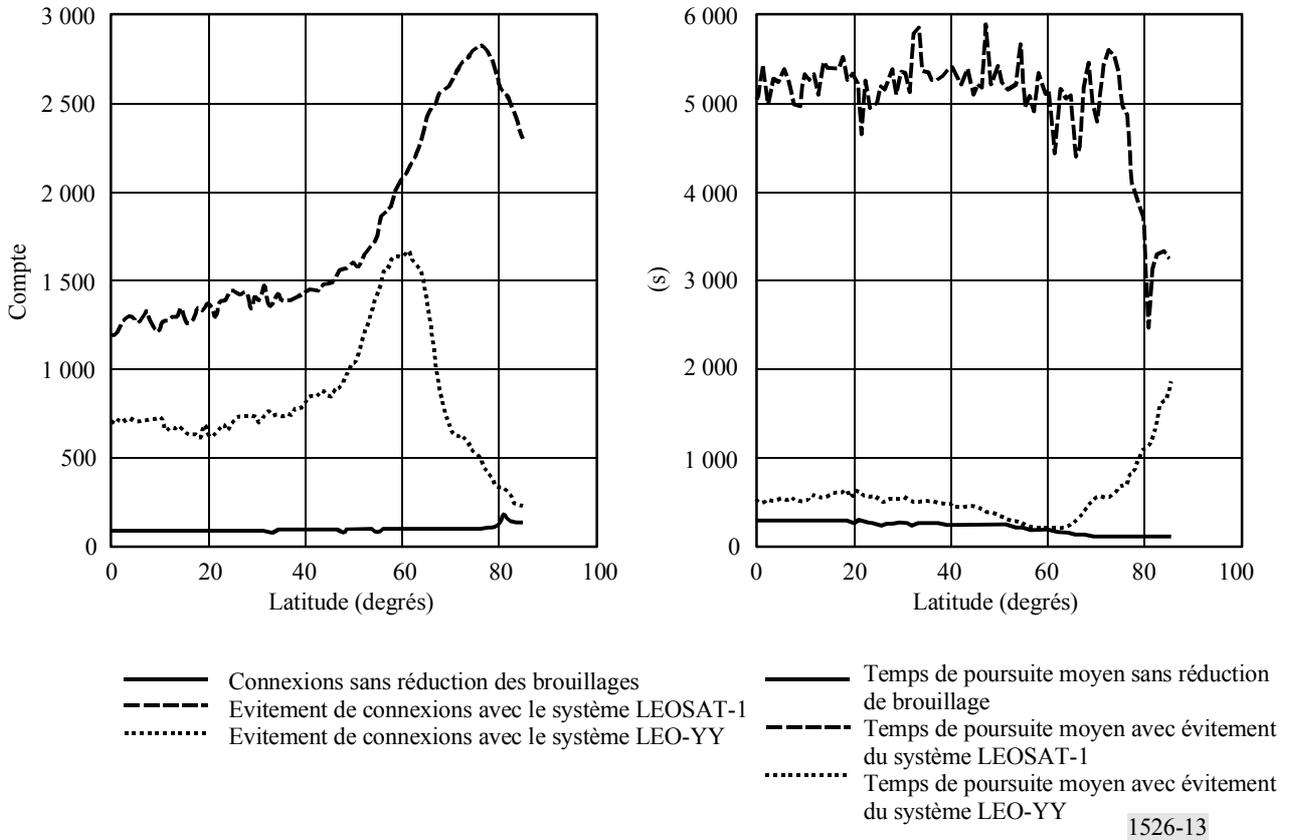


FIGURE 13

Incidences de la réduction des brouillages causés par le système LEO-YY sur les transferts entre satellites et le temps de poursuite moyen d'un satellite relatifs au système USAMEO-1



1526-13

Les Tableaux 10 et 11 montrent les effets de la pondération des statistiques de visibilité par la distribution de population et de PIB (d'après les estimations de 1999).

TABLEAU 10

Pourcentage de la population mondiale bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEO-YY

Centile	Couverture			Modifications par rapport à la couverture LEOSAT-1		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	8,53	0,00	0,00	8,53	0,00	0,00
99	91,86	41,22	0,00	-3,13	41,22	0,00
95	98,79	88,86	0,00	-0,92	8,91	0,00
90	99,34	90,80	50,32	-0,54	-3,01	50,32
80	100,00	97,04	78,26	0,01	-1,97	10,69
50	100,00	99,19	93,82	0,00	-0,75	-4,40

TABLEAU 11

Pourcentage du PIB mondial bénéficiant d'un niveau de couverture correspondant au centile indiqué, avec évitement du système LEO-YY

Centile	Couverture			Modifications par rapport à la couverture LEOSAT-1		
	1X	2X	3X	1X	2X	3X
100	6,64	0,00	0,00	6,64	0,00	0,00
99	79,28	13,49	0,00	-8,78	13,49	0,00
95	97,58	72,33	0,00	-1,79	19,89	0,00
90	98,42	76,55	14,81	-1,41	-7,81	14,81
80	100,00	94,36	49,37	0,01	-3,53	20,42
50	100,00	98,22	84,37	0,00	-1,69	-12,36

ANNEXE 2

Modélisation de la dégradation due à la pluie pour les convolutions

1 Introduction

NOTE 1 – Tous les symboles de la présente Annexe représentent des valeurs numériques et non des valeurs en décibel.

On a utilisé la Recommandation UIT-R S.1323 (méthode A) dans l'exemple présenté dans l'Annexe 1 pour évaluer si les brouillages externes causés par un système donné sont acceptables ou non par un autre système. Il est nécessaire pour cela de convoluer la fonction de densité de probabilité de la dégradation due à la pluie, X avec celle de la dégradation due aux brouillages, Y , afin de générer une fonction de densité de probabilité de la dégradation totale, Z . Supposons que l'on autorise un maximum de 10% de la dégradation totale pour les brouillages externes (ce qui signifie que tous les brouillages externes sont attribués à un seul système) et qu'une interruption de liaison se produise pour une valeur seuil spécifiée de la dégradation, D_{th} . Alors, 90% de la probabilité de la dégradation totale supérieure à D_{th} doit être inférieure ou égale à la probabilité de dégradation due à la pluie supérieure à D_{th} , c'est-à-dire:

$$P(Z \geq D_{th}) \leq P(X \geq D_{th})/0,9$$

Pour générer une fonction de densité de probabilité de dégradation due à la pluie, on utilise un des modèles de pluie normalisés, tels que ceux présentés dans la Recommandation UIT-R P.618, afin de déterminer la probabilité d'affaiblissements consécutifs aux évanouissements dus à la pluie L_R dans une gamme de fréquences quelconque. La relation entre l'affaiblissement dû à la pluie, L_R , et la dégradation due à la pluie, X , dépend de la liaison que l'on évalue. Il est également possible d'utiliser d'autres méthodes, telles que la méthode D' de la Recommandation UIT-R S.1323, pour estimer les brouillages causés par un système non OSD du SFS à un autre système.

2 Relation entre les évanouissements dus à la pluie et la dégradation due à la pluie sur la liaison descendante

La Recommandation UIT-R S.1323 fournit la relation ci-après entre X et L_R pour une liaison descendante générique, ce qui suppose que les signaux brouilleurs subissent par temps de pluie les mêmes évanouissements que la porteuse:

$$X = \frac{(1-\alpha) \left(L_R + \frac{(T_0 - T_B)}{T_{SYS}} \cdot \frac{(L_R - 1)}{L_A} \right) + \frac{\alpha}{L_A}}{(1-\alpha) + \frac{\alpha}{L_A}} \quad (1)$$

où

- α : fraction du bruit total sur la liaison descendante par ciel clair, due aux brouillages (c'est-à-dire, $\alpha = I/(N + I)$)
- L_R : affaiblissement dû à la pluie (fraction numérique)
- T_0 : température d'absorption moyenne (valeur typique = 274,8 K)
- T_B : température de fond (2,76 K pour le ciel)
- T_{SYS} : température de bruit thermique sur la liaison descendante
- L_A : affaiblissement dû à l'absorption dans l'atmosphère (fraction numérique).

3 Relation entre les évanouissements dus à la pluie et la dégradation due à la pluie sur la liaison montante

Dans le cas d'une liaison montante, pour laquelle les signaux brouilleurs sont susceptibles ou non de subir des évanouissements dus à la pluie, il est nécessaire de disposer d'une expression plus générale relative aux valeurs L_R et X . Les calculs suivants permettent de déterminer des expressions générales du rapport $(C/(N + I))_{faded}$ et de la dégradation due à la pluie X .

Soit $\beta = \left(\frac{I}{N} \right)_{clear-sky}$ $\delta =$ fraction de I sans évanouissements (not faded)

$$\left(\frac{C}{N+I} \right)_{unfaded} = \frac{C}{N + \beta N} = \frac{C}{N(1+\beta)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N+I} \right)_{faded} &= \frac{C/L_R}{N + \delta I + (1-\delta) I/L_R} = \frac{C}{L_R \cdot N(1+\delta) I/N + (1-\delta) (I/N)/L_R} \cdot \frac{1+\beta}{1+\beta} \\ &= \frac{1+\beta}{L_R(1+\delta\beta + (1-\delta)\beta/L_R)} \cdot \frac{C}{N(1+\beta)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$X = \frac{(C/N+1)_{unfaded}}{(C/N+1)_{faded}} = \frac{L_R(1+\delta\beta + (1-\delta)\beta/L_R)}{1+\beta} = \frac{L_R(1+\delta\beta) + (1-\delta)\beta}{1+\beta} \quad (4)$$

Puisque

$$\beta = \frac{I}{N} = \frac{I/(I+N)}{(N+I-I)/(I+N)} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (5)$$

on peut encore exprimer X de la façon suivante:

$$X = L_R((1-\alpha) + \delta\alpha) + (1-\delta)\alpha \quad (6)$$

L'expression suivante permet de déterminer δ , fraction de I sans évanouissements, en fonction de valeurs données de C/I avec ou sans évanouissements:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{faded} = \frac{C/L_R}{\delta I + (1-\delta) I/L_R} = \frac{1}{L_R \cdot \delta + (1-\delta)} \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{unfaded} \quad (7)$$

d'où:

$$\delta = \frac{1}{L_R - 1} \cdot \left(\frac{(C/I)_{unfaded}}{(C/I)_{faded}} - 1 \right) \quad (8)$$

Si C/I est identique dans les conditions avec ou sans évanouissements (ce qui signifie que I subit également des évanouissements sur la porteuse, donc $\delta = 0$), l'expression de X ci-dessus se simplifie de la manière suivante:

$$X = L_R(1 - \alpha) + \alpha \quad (9)$$

Si I ne subit absolument aucun évanouissement (c'est-à-dire $\delta = 1$), l'expression de X devient simplement:

$$X = L_R \quad (10)$$

4 Modélisation de la commande de puissance

Lorsque l'on n'utilise pas de commande de puissance sur une liaison donnée, la dégradation sur la liaison se produit pour tout évanouissement dû à la pluie, ce qui permet d'utiliser directement la fonction de densité de probabilité de X établie à partir de l'équation idoine ci-dessus et dépendant de L_R .

Lorsque la commande de puissance est utilisée pour compenser les évanouissements dus à la pluie, aucune dégradation de la liaison ne se produit avant que la gamme dynamique de la fonction de commande de puissance ne soit atteinte. Dans ce cas, il faut obtenir une fonction de densité de probabilité modifiée applicable à la dégradation due à la pluie X' (avec commande de puissance), fondée sur la fonction de densité de probabilité de dégradation due à la pluie X (sans commande de puissance). La fonction de densité de probabilité de X' doit avoir une impulsion à 0 dB de dégradation indiquant une probabilité d'évanouissements dus à la pluie inférieure ou égale à la valeur maximale d'évanouissements dus à la pluie compensée par la fonction de commande de puissance. Si F est la valeur maximale d'évanouissements dus à la pluie sans dégradation, et M la valeur de X pour cette valeur d'évanouissements dus à la pluie, alors:

$$P(X' = 0) = P(L_R \leq F) = P(X \leq M) \quad (11)$$

$$P(X' \leq i) = P(X \leq i + M) \quad \text{pour } X > M (i > 0) \quad (12)$$