

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R SA.1026-5

(07/2017)

Critères de brouillage cumulatif pour les systèmes de transmission de données espace vers Terre dans les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite utilisant des satellites en orbite terrestre basse

Série SA

Applications spatiales et météorologie



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiopérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2018

© UIT 2018

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R SA.1026-5

Critères de brouillage cumulatif pour les systèmes de transmission de données espace vers Terre dans les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite utilisant des satellites en orbite terrestre basse

(Questions UIT-R 139/7 et UIT-R 141/7)

(1994-1995-1997-1999-2009-2017)

Champ d'application

La présente Recommandation vise à fournir des critères de brouillage cumulatif applicables aux transmissions espace vers Terre effectuées depuis des satellites en orbite terrestre basse, dans les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite.

Mots clés

Service d'exploration de la Terre par satellite (SETS), service de météorologie par satellite (MetSat), satellites non OSG, critères de brouillage cumulatif

Recommandations et Rapports connexes

Recommandations UIT-R SA.514, UIT-R SA.1020, UIT-R SA.1021, UIT-R SA.1022, UIT-R SA.1023, UIT-R SA.1027, UIT-R SA.1159.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a)* que le système fictif de référence spécifié dans la Recommandation UIT-R SA.1020 définit les liaisons espace vers Terre pour un certain nombre de fonctions, y compris l'acquisition de données directes et de données enregistrées;
- b)* que l'on a besoin de critères de brouillage pour concevoir des systèmes offrant une qualité de fonctionnement adéquate en présence de brouillage et mettre au point plus facilement des critères de partage de bande entre les systèmes, y compris ceux qui sont exploités dans d'autres services;
- c)* que les engins spatiaux fonctionnant dans les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite peuvent utiliser des orbites terrestres basses;
- d)* que la Recommandation UIT-R SA.1159 spécifie pour plusieurs bandes de fréquences les objectifs de qualité de fonctionnement pour les systèmes de transmission de données espace vers Terre dans les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite;
- e)* que, bien que des systèmes de transmission de données particuliers puissent avoir des objectifs de qualité de fonctionnement qui diffèrent de ceux recommandés pour les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite, tous les systèmes fonctionnant dans ces services devraient pouvoir prendre en charge des critères de brouillage supérieurs ou égaux aux niveaux de brouillage admissibles qui sont recommandés pour les services;
- f)* que l'on utilise les méthodes indiquées dans la Recommandation UIT-R SA.1022 pour calculer des critères de brouillage destinés aux systèmes de transmission de données dans les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite;

g) que l'Annexe 1 présente les paramètres de systèmes représentatifs qui constituent la base des critères de brouillage pour les transmissions espace vers Terre des services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite dans certaines bandes de fréquences,

recommande

1 que les critères de brouillage pour les bandes de fréquences indiquées dans le Tableau 1 soient utilisés comme niveaux cumulatifs admissibles de puissance de signal brouilleur à la sortie d'antenne des stations terriennes fonctionnant dans les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite en orbites terrestres basses.

TABLEAU 1

Critères de brouillage pour stations terriennes d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite utilisant des engins spatiaux en orbites terrestres basses (Voir Notes 1, 2, 3 et 4)

Bande de fréquences	Puissance du signal brouilleur (dBW) qui ne doit pas être dépassée pendant plus de 20% du temps dans la largeur de bande de référence	Puissance du signal brouilleur (dBW) qui ne doit pas être dépassée pendant plus de 0,0125% du temps dans la largeur de bande de référence. (Cette valeur est fondée sur le critère de qualité de fonctionnement de 99,9% indiqué dans la Recommandation UIT-R SA.1159)
137-138 MHz	-142 dBW par 150 kHz ⁽¹⁾	-136 dBW par 150 kHz ⁽¹⁾
400,15-401,00 MHz	-157 dBW par 177,5 kHz	-147 dBW par 177,5 kHz
1 698-1 710 MHz	-146 dBW par 2 668 kHz	-138 dBW par 2 668 kHz
7 750-7 900 MHz	-144 dBW par 10 MHz	-127 dBW par 10 MHz
8 025-8 400 MHz	-147 dBW par 10 MHz	-133 dBW par 10 MHz
25,5-27,0 GHz	-140 dBW par 10 MHz	-116 dBW par 10 MHz

⁽¹⁾ La puissance du signal brouilleur (dBW) dans la largeur de bande de référence est donnée pour une réception à des angles d'élévation supérieurs ou égaux à 25°; dans tous les autres cas l'angle d'élévation minimal est de 5°.

NOTE 1 – La puissance cumulative du signal brouilleur qui peut être dépassée pendant plus de $x\%$ temps, lorsque x est inférieur à 20% mais supérieur au pourcentage à court terme spécifié (0,0125% du temps) peut être calculée par interpolation des valeurs spécifiées sur une échelle logarithmique (base 10) pour le pourcentage de temps et sur une échelle linéaire pour la densité de puissance du signal brouilleur (dB).

NOTE 2 – Les critères de brouillage sont indiqués par rapport au pourcentage de temps de réception par la station terrienne. Ainsi les statistiques de qualité de fonctionnement du récepteur associées à la réception des signaux issus d'un satellite particulier (c'est-à-dire la distribution cumulative des taux d'erreur binaire (TEB)) sont les mêmes que les statistiques relatives à la réception de signaux issus de plusieurs satellites analogues. La durée totale de réception comprend les périodes associées à l'acquisition initiale des signaux (c'est-à-dire avant et pendant l'ascension locale du satellite), à la synchronisation du récepteur sur les données et à la réception synchronisée de celles-ci. En conséquence, comme le temps nécessaire pour l'acquisition et la synchronisation initiales des signaux peut représenter jusqu'à plusieurs dizaines de secondes sur des périodes totales de visibilité de satellite de l'ordre de 9 min en moyenne, les analyses de qualité de fonctionnement à court terme présentées en Annexe 1 (c'est-à-dire la qualité de fonctionnement dépassée pendant la totalité sauf un petit pourcentage p du temps, où $p \leq 1\%$) partent de l'hypothèse que le satellite est positionné à l'angle d'élévation minimal correspondant à l'objectif de qualité applicable. Ce qui fournit la qualité en termes de TEB qui est dépassée pendant la totalité sauf $p\%$ du temps parce que le rapport E_b/N_0 et le TEB sont des fonctions monotones de l'angle d'élévation.

Notes relatives au Tableau 1:

NOTE 3 – L'angle d'élévation dépassé pendant la totalité sauf 20% du temps de réception est bien approché par l'angle dépassé pendant la totalité sauf 20% du temps de visibilité du satellite au-dessus de l'angle d'élévation minimal qui est spécifié dans l'objectif de qualité de fonctionnement. Cette approximation est effectuée dans les analyses de qualité présentées dans l'Annexe 1 parce que l'erreur sous-jacente sur le temps cumulé ne peut pas dépasser 1% (c'est-à-dire $p\%$ du temps) et que l'on peut négliger l'erreur totale sur le gain d'antenne du satellite, sur l'affaiblissement en espace libre, sur l'affaiblissement supplémentaire sur le trajet et sur les valeurs des paramètres de la station terrienne. L'angle d'élévation résultant qui est dépassé pendant la totalité sauf 20% du temps de réception fournit la qualité en termes de TEB qui est dépassée pendant la totalité sauf 20% du temps parce que le rapport E_b/N_0 et le TEB sont des fonctions monotones de l'angle d'élévation.

NOTE 4 – Pour les bandes de fréquences autres que celles mentionnées au Tableau 1, le critère du brouillage établi dans la Recommandation UIT-R SA.514 est applicable.

Annexe 1

Base pour la détermination des critères de brouillage

1 Introduction

La présente Annexe indique, bande par bande, les paramètres utilisés dans la méthode de la Recommandation UIT-R SA.1022 pour calculer les critères de brouillage à utiliser dans les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite, au moyen des objectifs de qualité de fonctionnement spécifiés dans la Recommandation UIT-R SA.1159. Les analyses de qualité de fonctionnement pour un certain nombre de systèmes de référence sont résumées dans le Tableau 2. Dans tous les cas, les systèmes représentatifs utilisent des satellites en orbites circulaires à forte inclinaison.

Il convient de noter que, dans le Tableau 2 et les paragraphes 2 à 7 ci-après, les paramètres M_{min} , M_{min} (long terme) et M_{min} (court terme) doivent être interprétés selon le sens qui leur est donné dans la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R SA.1022, c'est-à-dire comme «la plus petite marge sans brouillage pour laquelle le système perturbé doit être totalement protégé». Ces paramètres ne doivent pas être considérés comme représentatifs de tous les systèmes du SETS et du service MetSat, en particulier des systèmes qui figurent dans le Tableau 2, dont certains présentent des marges de puissance plus faibles.

TABLEAU 2

Analyses de qualité de fonctionnement utilisées comme base pour les critères de brouillage

Bande de fréquences (MHz)	137-138					
	Station terrienne à faible gain (APT) (système A)		Station terrienne de poursuite (LRPT) (système B)		Station terrienne à faible gain (LRPT) (système C)	
Pourcentage de temps, p , pendant lequel le bilan de liaison n'est pas respecté	0,05	20	0,05	20	0,05	20
Angle d'élévation (dépassé pendant $p\%$ du temps)	25°	30°	5°	13°	25°	30°
Puissance d'entrée de l'antenne du satellite (dBW)	4,9		6,8		6,8	
Gain d'antenne du satellite (dBic)	0,7	1,1	-1,2	-0,5	0,7	1,1
p.i.r.e. du satellite (dBW)	5,6	6,0	5,6	6,3	7,5	7,9
Affaiblissement en espace libre (dB)	139,4	138,5	144,3	142,2	139,4	138,5
Affaiblissement supplémentaire sur le trajet (dB)	0,2		0,1	0,1	0,1	
Gain d'antenne de la station terrienne (dBic)	2,0		10,0	10,0	2,0	
Affaiblissement dû à l'erreur de pointage de l'antenne (dB)	0,0		0,0	0,0	0,0	
Affaiblissement dû au désaccord de polarisation (dB)	1,5		1,5	1,5	1,5	
Affaiblis. dans le modulateur et dans le démodulateur (dB)	0,0		2,0	2,0	2,0	
Largeur de bande de référence du récepteur (kHz)	50		150		150	
Débit de données (dB-Hz)	Largeur de bande occupée 45,7		48,6		48,6	
Energie par bit reçue, E_b (dB(W/Hz))	-179,2 (C_0)	-177,9 (C_0)	-180,9	-178,1	-182,1	-180,8
Température de bruit du système de réception (K)	2 520		1 750		1 750	
Densité de puissance de bruit thermique (dB(W/Hz))	-194,6		-196,2		-196,2	
Densité de puissance de bruit non thermique du récepteur (dB(W/Hz))	-		-		-	
Densité de puissance de bruit interne totale, N_0 (dB(W/Hz))	-194,6		-196,2		-196,2	
Rapport E_b/N_0 (dB)	15,4(C_0/N_0)	16,7(C_0/N_0)	15,3	18,1	14,1	15,4
TEB de liaison	-		10^{-10}		$< 10^{-10}$	
TEB global de réception	-		$< 10^{-10}$		$< 10^{-10}$	
Seuil E_b/N_0 (ou C/N) (dB)	12,0		6,5		6,5	
Marge de puissance (dB)	3,4	4,7	8,8	11,6	7,6	8,9
Facteur de qualité (lt: long terme, st: court terme)	0,5 (lt)	1 (st)	0,6 (lt)	1 (st)	0,6 (lt)	1 (st)
M_{min} (dB)	0,8		1,2		1,2	
Pourcentage de temps pour les critères de brouillage	20	0,0125	20	0,0125	20	0,0125
Critères de brouillage (dBW) dans la largeur de bande de référence	-151	-145	-141	-133	-142	-136

TABLEAU 2 (suite)

Bande de fréquences (MHz)	400,15-401,00		1 698-1 710			
Type de station terrienne ou type de transmission	Antenne sans poursuite (équidirective) (système A)		Lecture directe de données (système A)		Lecture directe de données (système B)	
Pourcentage de temps, <i>p</i> , pendant lequel le bilan de liaison n'est pas respecté	0,05	20	0,05	20	0,05	20
Angle d'élévation (dépassé pendant <i>p</i> % du temps)	5°	13°	5°	13°	5°	13°
Puissance d'entrée de l'antenne du satellite (dBW)	11,1		6,1		6,1	
Gain d'antenne du satellite (dBic)	0,0	0,0	2,1	2,0	2,1	2,0
p.i.r.e. du satellite (dBWi)	11,1	11,1	8,2	8,1	8,2	8,1
Affaiblissement en espace libre (dB)	153,6	151,4	166,3	164,0	166,3	164,0
Affaiblissement supplémentaire sur le trajet (dB)	0,2		0,2	0,0	0,2	
Gain d'antenne de la station terrienne (dBic)	0,0		46,8		29,8	
Affaiblissement dû à l'erreur de pointage de l'antenne (dB)	0,0		0,5		0,5	
Affaiblissement dû au désaccord de polarisation (dB)	0,3		0,2		0,5	
Affaiblis. dans le modulateur et dans le démodulateur (dB)	2,0		2,7		2,7	
Largeur de bande de référence du récepteur (kHz)	177,5		5 334		2 668	
Débit de données (dB-Hz)	49,5		64,2		58,2	
Energie par bit reçue, E_b (dB(W/Hz))	-194,5	-192,3	-179,1	-176,7	-190,4	-188,2
Température de bruit du système de réception (K)	400		320	210	370	240
Densité de puissance de bruit thermique (dB(W/Hz))	-202,6		-203,5	-205,4	-202,9	-204,8
Densité de puissance de bruit non thermique du récepteur (dB(W/Hz))	-211,7		-202,4		-204,2	
Densité de puissance de bruit interne totale, N_0 (dB(W/Hz))	-202,1		-199,9	-200,6	-200,5	-201,5
Rapport E_b/N_0 (dB)	7,6	9,8	20,8	23,9	10,1	13,3
TEB de liaison	$< 10^{-8}$	$< 10^{-10}$	$< 10^{-12}$		6×10^{-5}	$< 10^{-9}$
Taux d'erreur de traitement des données de satellite	-	-	5×10^{-7}		-	-
TEB global de réception	$< 10^{-8}$	$< 10^{-10}$	5×10^{-7}		6×10^{-5}	$< 10^{-9}$
Seuil E_b/N_0 (dB)	5,5	5,5	11,2		10,5	10,5
Marge de puissance (dB)	2,1	4,3	9,6	12,7	-0,4	2,8
Facteur de qualité (lt: long terme, st: court terme)	0,33 (lt)	1 (st)	0,6 (lt)	1 (st)	0,33 (lt)	1 (st)
M_{min} (dB)	1,2		1,2		1,2	
Pourcentage de temps pour les critères de brouillage	20	0,0125	20	0,0125	20	0,0125
Critères de brouillage (dBW) dans la largeur de bande de référence	-157	-147	-128	-121	-146	-138

TABLEAU 2 (suite)

Bande de fréquences (MHz)	1 698-1 710		7 750-7 900			
Type de station terrienne ou type de transmission	Lecture directe de données (système C)		Acquisition de données enregistrées (système A)		Lecture directe de données (système B)	
Pourcentage de temps, p , pendant lequel le bilan de liaison n'est pas respecté	0,05	20	0,05	20	0,05	20
Angle d'élévation (dépassé pendant $p\%$ du temps)	5	8	5	13	5	8
Puissance d'entrée de l'antenne du satellite (dBW)	9,9		6,5		16,3	
Gain d'antenne du satellite (dBic)	3,2	3,2	6,0	5,8	4,0	4,1
p.i.r.e. du satellite (dBWi)	13,1	13,0	12,5	12,3	20,3	20,4
Affaiblissement en espace libre (dB)	166,1	164,0	179,5	177,3	179,4	177,2
Affaiblissement supplémentaire sur le trajet (dB)	0,2	0,2	3,5	0,5	0,5	0,5
Gain d'antenne de la station terrienne (dBic)	22,5		55,2		41,7	
Affaiblissement dû à l'erreur de pointage de l'antenne (dB)	0,5		0,5		0,5	
Affaiblissement dû au désaccord de polarisation (dB)	0,5		0,2		0,5	
Affaiblis. dans le modulateur et dans le démodulateur (dB)	2,5		2,0		2,5	
Largeur de bande de référence du récepteur (MHz)	6,0		10		10	
Débit de données (dB-Hz)	65,3		78,5		72,4	
Energie par bit reçue E_b (dB(W/Hz))	-199,6	-197,5	-196,4	-191,5	-193,8	-191,5
Température de bruit du système de réception (K)	80	70	180	150	115	95
Densité de puissance de bruit thermique (dB(W/Hz))	-209,6	-210,1	-206,0	-206,8	-208,0	-208,8
Rapport E_b/N_0 (dB)	10,0	12,7	9,6	15,4	14,2	17,3
TEB de liaison	10^{-8}		10^{-7}		10^{-8}	
Seuil E_b/N_0 (dB)	3,6		7,20		4,1	
Marge de puissance (dB)	6,4	9,1	2,40	8,2	10,1	13,2
Facteur de qualité (lt: long terme. st: court terme)	0,33 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)
M_{min} (dB)	4,5		4,5		4,5	
Pourcentage de temps pour les critères de brouillage	20	0,0125	20	0,0125	20	0,0125
Critères de brouillage (dBW) dans la largeur de bande de référence	-144	-134	-146	-129	-144	-126

TABLEAU 2 (suite)

Bande de fréquences (MHz)	7 750-7 900			
Type de station terrienne ou type de transmission	Lecture directe de données (système C)		Lecture directe de données (système D)	
Pourcentage de temps, <i>p</i> , pendant lequel le bilan de liaison n'est pas respecté	0,05	20	0,05	20
Angle d'élévation (dépassé pendant <i>p</i> % du temps)	5	8	5	13
Puissance d'entrée de l'antenne du satellite (dBW)	9,6		19,4	
Gain d'antenne du satellite (dBic)	9,6	9,6	3,3	3,3
p.i.r.e. du satellite (dBWi)	19,2	19,2	22,7	22,7
Affaiblissement en espace libre (dB)	179	177	179,4	177
Affaiblissement supplémentaire sur le trajet (dB)	0,5	0,5	2,9	0,5
Gain d'antenne de la station terrienne (dBic)	44,9		44,3	
Affaiblissement dû à l'erreur de pointage de l'antenne (dB)	0,5		1	
Affaiblissement dû au désaccord de polarisation (dB)	0,5		0,1	
Affaiblis. dans le modulateur et dans le démodulateur (dB)	2,5		3,2	
Largeur de bande de référence du récepteur (MHz)	10		10	
Débit de données (dB-Hz)	71,1		79,0	
Energie par bit reçue E_b (dB(W/Hz))	-190	-188	-198,6	-193,8
Température de bruit du système de réception (K)	343	343	252,5	252,5
Densité de puissance de bruit thermique (dB(W/Hz))	-203	-203	-204,6	-204,6
Rapport E_b/N_0 (dB)	13,0	15,0	5,9	10,7
TEB de liaison	10^{-6}		10^{-6}	
Seuil E_b/N_0 (dB)	5,0		2,63	
Marge de puissance (dB)	8,0	10	3,3	8,1
Facteur de qualité (lt: long terme. st: court terme)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)
M_{min} (dB)	4,5		4,5	
Pourcentage de temps pour les critères de brouillage	20	0,0125	20	0,0125
Critères de brouillage (dBW) dans la largeur de bande de référence	-140	-123	-144	-127

TABLEAU 2 (suite)

Bande de fréquences (MHz)	8 025-8 400					
Type de station terrienne ou type de transmission	Acquisition de données enregistrées (Système A)		Acquisition de données enregistrées (Système B)		Lecture directe de données (Système C)	
Pourcentage de temps, p , pendant lequel le bilan de liaison n'est pas respecté	0,05	20	0,05	20	0,05	20,0
Angle d'élévation (dépassé pendant $p\%$ du temps)	5°	13°	5°	13°	5°	13°
Puissance d'entrée de l'antenne du satellite (dBW)	12		3		16,9	
Gain d'antenne du satellite (dBic)	2,4	3,7	28		6,1	
p.i.r.e. du satellite (dBWi)	14,4	15,7	31		23	
Affaiblissement en espace libre (dB)	179,3	177	180	177,8	179,3	177,0
Affaiblissement supplémentaire sur le trajet (dB)	1,2	0,8	1,2	0,8	0,7	0,6
Gain d'antenne de la station terrienne (dBic)	54,8		41,7		42,5	
Affaiblissement dû à l'erreur de pointage de l'antenne (dB)	0,5		0,1		0,5	
Affaiblissement dû au désaccord de polarisation (dB)	0,4		0,2		0,5	
Affaiblis. dans le modulateur et dans le démodulateur (dB)	2,0		1,5		2,0	
Largeur de bande de référence du récepteur (MHz)	10		10		10	
Débit de données (dB-Hz)	85,1		83		73	
Energie par bit reçue, E_b (dB(W/Hz))	-199,3	-195,3	-193,3	-190,8	-190,5	-188,1
Température de bruit du système de réception (K)	50	50	100	100	292	275
Densité de puissance de bruit thermique (dB(W/Hz))	-211,6	-211,6	-208,6	-208,6	-203,9	-204,2
Densité de puissance de bruit interne totale, N_0 (dB(W/Hz))	-211,6	-211,6	-208,6	-208,6	-203,9	-204,2
Rapport E_b/N_0 (dB)	12,3	16,3	15,3	17,8	13,5	16,1
TEB de liaison	$< 10^{-10}$	$< 10^{-10}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-10}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-10}$
TEB global de réception	$< 10^{-10}$		$< 10^{-7}$	$< 10^{-10}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$
Seuil E_b/N_0 (dB)	7,2		6,3		9,6	
Marge de puissance (dB)	5,1	9,1	9,0	11,5	3,8	6,5
Facteur de qualité (lt: long terme. st: court terme)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)
M_{min} (dB)	4,5		4,5		4,5	
Pourcentage de temps pour les critères de brouillage	20	0,0125	20	0,0125	20	0,0125
Critères de brouillage (dBW) dans la largeur de bande de référence	-151	-133	-145	-127	-144	-129

TABLEAU 2 (suite)

Bande de fréquences (MHz)	8 025-8 400			
Type de station terrienne	Acquisition de données enregistrées (système D)		Acquisition de données enregistrées (système E)	
Pourcentage de temps, p , pendant lequel le bilan de liaison n'est pas respecté	0,05	20	0,05	20,0
Angle d'élévation (dépassé pendant $p\%$ du temps)	5°	13°	5°	13°
Puissance d'entrée de l'antenne du satellite (dBW)	15,3		10,0	
Gain d'antenne du satellite (dBic)	5,5	5,0	3,5	
p.i.r.e. du satellite (dBWi)	20,8	20,3	13,5	
Affaiblissement en espace libre (dB)	179,8	177,6	179,8	177,6
Affaiblissement supplémentaire sur le trajet (dB)	1,6	1,0	1,6	1,0
Gain d'antenne de la station terrienne (dBic)	54,8		57,0	
Affaiblissement dû à l'erreur de pointage de l'antenne (dB)	0,5		0,5	
Affaiblissement dû au désaccord de polarisation (dB)	0,6		0,6	
Affaiblis. dans le modulateur et dans le démodulateur (dB)	4,9		2,4	
Largeur de bande de référence du récepteur (MHz)	10		10	
Débit de données (dB-Hz)	84,2		84,45	
Energie par bit reçue E_b (dB(W/Hz))	-196,0	-193,7	-198,85	-196,05
Température de bruit du système de réception (K)	125	125	120	120
Densité de puissance de bruit thermique (dB(W/Hz))	-207,6	-207,6	-207,8	-207,8
Densité de puissance de bruit interne totale N_0 (dB(W/Hz))	-207,6	-207,6	-207,8	-207,8
Rapport E_b/N_0 (dB)	11,6	13,9	8,95	11,75
TEB de liaison	$< 10^{-10}$	$< 10^{-10}$	$< 10^{-10}$	$< 10^{-10}$
TEB global de réception	$< 10^{-10}$		$< 10^{-10}$	
Seuil E_b/N_0 (dB)	7,6		5,6	
Marge de puissance (dB)	4,0	6,3	3,35	6,15
Facteur de qualité (lt: long terme, st: court terme)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)
M_{min} (dB)	4,5		4,5	
Pourcentage de temps pour les critères de brouillage	20	0,0125	20	0,0125
Critères de brouillage (dBW) dans la largeur de bande de référence	-147	-132	-147	-133

TABLEAU 2 (suite)

Bande de fréquences (MHz)	25 500-27 000							
	Données enregistrées de missions (système A, mode 1)		Lecture directe de données (système A, mode 2)		Lecture directe de données à haut débit (système B)		Données enregistrées de missions (système C)	
Pourcentage de temps, p , pendant lequel le bilan de liaison n'est pas respecté	0,05	20,0	0,05	20,0	0,05	20,0	0,05	20
Angle d'élévation (dépassé pendant $p\%$ du temps)	5°	13°	5°	13°	5°	13°	5°	8°
Puissance d'entrée de l'antenne du satellite (dBW)	13,0		13,0		13,0	14,8	6,4	
Gain d'antenne du satellite (dBic)	28,0		25,0		39,1		37,2	
p.i.r.e. du satellite (dBWi)	41,0		38,0		52,1	53,9	43,6	43,6
Affaiblissement en espace libre (dB)	189,8	187,7	189,8	187,7	188,8	186,4	190,0	187,9
Affaiblissement supplémentaire sur le trajet (dB)	6,4	1,0	6,4	1,0	6,4	1,0	1,0	1,0
Gain d'antenne de la station terrienne (dBic)	55,2		42,5		42,5	38,0	58,2	58,2
Affaiblissement dû à l'erreur de pointage de l'antenne (dB)	0,5		0,5		0,5		0,5	
Affaiblissement dû au désaccord de polarisation (dB)	0,2		0,2		0,2		0,5	
Affaiblis. dans le modulateur et dans le démodulateur (dB)	2,0		2,0		2,0		2,5	
Largeur de bande de référence du récepteur (MHz)	10		10		10		10	
Débit de données (dB-Hz)	90,0		76,0		90,0		81,2	
Energie par bit reçue, E_b (dB(W/Hz))	-191,9	-184,1	-194,5	-186,9	-193,3	-188,2	-173,6	-171,5
Température de bruit du système de réception (K)	715,9	557,6	715,9	557,6	552,7	272,8	350	300
Densité de puissance de bruit interne totale, N_0 (dB(W/Hz))	-200,1	-201,1	-200,1	-201,1	-201,2	-204,2	-203,1	-203,8
Rapport E_b/N_0 (dB)	7,3	16,0	5,6	14,3	7,9	16,0	29,5	32,4
TEB de liaison	10^{-6}		10^{-6}		10^{-6}		10^{-8}	
Taux d'erreur de traitement des données de satellite	5×10^{-7}		-		-		-	
TEB global de réception	$1,5 \times 10^{-6}$		10^{-6}		10^{-6}		10^{-8}	
Seuil E_b/N_0 (dB)	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	5,6	5,6
Marge de puissance (dB)	3,4	12,1	1,7	10,4	4,0	12,1	23,9	26,8
Facteur de qualité (lt: long terme, st: court terme)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1 (st)
M_{min} (dB)	4,5		4,5		4,5		4,5	
Pourcentage de temps pour les critères de brouillage	20	0,0125	20	0,0125	20	0,0125	20	0,0125
Critères de brouillage (dBW) dans la largeur de bande de référence	-140	-119	-140	-121	-141	-122	-134	-107

TABLEAU 2 (*fin*)

Bande de fréquences (MHz)	25 500-27 000			
Type de station terrienne ou type de transmission	Données enregistrées de missions (système D)		Données enregistrées de missions (système E)	
Pourcentage de temps, p , pendant lequel le bilan de liaison n'est pas respecté	0,05	20	0,05	20
Angle d'élévation (dépassé pendant $p\%$ du temps)	5	13	5	13
Puissance d'entrée de l'antenne du satellite (dBW)	9,0		14,8	
Gain d'antenne du satellite (dBic)	38,0	38,0	27,5	27,5
p.i.r.e. du satellite (dBWi)	47,0	47,0	42,3	42,3
Affaiblissement en espace libre (dB)	190	188	190,04	188
Affaiblissement supplémentaire sur le trajet (dB)	6,4	1,0	8,72	1
Gain d'antenne de la station terrienne (dBic)	55,4		59,6	
Affaiblissement dû à l'erreur de pointage de l'antenne (dB)	0,5		0,3	
Affaiblissement dû au désaccord de polarisation (dB)	0,2		0	
Affaiblis. dans le modulateur et dans le démodulateur (dB)	2,0		5,7	
Largeur de bande de référence du récepteur (MHz)	10		10	
Débit de données (dB-Hz)	81,1		85,9	
Energie par bit reçue, E_b (dB(W/Hz))	-178	-170	-188,8	-179
Température de bruit du système de réception (K)	363	363	395,5	395,5
Densité de puissance de bruit thermique (dB(W/Hz))	-203	-203	-202,6	-202,6
Rapport E_b/N_0 (dB)	25,0	32,6	13,9	23,6
TEB de liaison	10^{-6}		10^{-6}	
Seuil E_b/N_0 (dB)	5,0		6,93	
Marge de puissance (dB)	20,0	27,6	6,9	16,7
Facteur de qualité (lt: long terme, st: court terme)	0,1 (lt)	1 (st)	0,1 (lt)	1
M_{min} (dB)	4,5		4,5	
Pourcentage de temps pour les critères de brouillage	20	0,0125	20	0,0125
Critères de brouillage (dBW) dans la largeur de bande de référence	-135	-105	-140	-116

2 Service de météorologie par satellite dans la bande 137-138 MHz

L'analyse de qualité de fonctionnement d'un système automatique de transmission d'images (APT, *automatic picture transmission*) fonctionnant dans la bande 137-138 MHz suppose que l'altitude du satellite est de 844 km. Le système APT fait intervenir une modulation analogique sur une largeur de bande de 50 kHz. L'analyse de qualité de fonctionnement du système de transmission d'images à faible résolution (LRPT, *low resolution picture transmission*) exploité dans la bande 137-138 MHz repose sur une altitude de satellite identique.

Les transmissions LRPT sont numériques (modulation MDP-4 avec filtre de Nyquist) et se caractérisent par un débit de transmission de données nominal de 72 kbit/s, compte tenu du codage concaténé Reed-Solomon/convolutif avec entrelacement. Deux types de station terrienne devraient être exploités dans le système LRPT:

- station terrienne à antenne non orientable de faible gain de 2 dBic pour les données locales (données météorologiques rassemblées sur des distances d'environ 1 000 km depuis la station terrienne);
- station terrienne à antenne orientable, présentant un gain de 10 dBic, pour les données régionales (données météorologiques rassemblées sur des distances pouvant dépasser 2 000 km depuis la station terrienne). Les stations terriennes peuvent être mobiles ou transportables.

Dans les systèmes APT, on n'utilise généralement que des antennes de type équidirectif de faible gain (2 dBic).

Dans l'application de la méthode de la Recommandation UIT-R SA.1022, on peut utiliser la fourchette de paramètres de brouillage suivante pour calculer les critères de brouillage:

<i>Récepteur analogique</i>	<i>Récepteur numérique</i>
q (long terme) = 0,5	Q (LONG TERME) = 0,6
q (court terme) = 1	Q (COURT TERME) = 1
M_{min} (long terme) = M_{min} (court terme) = 0,8 dB	M_{min} (long terme) = M_{min} (court terme) = 1,2 dB

Compte tenu de ce qui précède, parmi les systèmes décrits dans le Tableau 2, le système C peut être considéré comme le système le plus représentatif, ce qui amène à prendre en compte les critères suivants dans la bande 137-138 MHz:

- critère à long terme = -142 dBW/150 kHz
- critère à court terme (0,0125%) = -136 dBW/150 kHz.

3 Service de météorologie par satellite dans la bande 400,15-401 MHz

L'analyse de qualité de fonctionnement d'un système dans cette bande suppose une altitude de satellite de 833 km. Les données reçues des capteurs du satellite sont multiplexées en un flux transmis à 88,75 kbit/s, avec codage convolutionnel 1/2 pour la correction d'erreur. Les stations terriennes associées sont typiquement des stations mobiles ce qui permet d'utiliser des antennes donnant un gain de 0 dBic seulement.

Dans l'application de la méthode de la Recommandation UIT-R SA.1022, on peut utiliser la fourchette de paramètres de brouillage suivante pour calculer les critères de brouillage:

$$\begin{aligned}
 q \text{ (long terme)} &= 0,33 \\
 q \text{ (court terme)} &= 1 \\
 M_{min} \text{ (long terme)} &= M_{min} \text{ (court terme)} = 1,2 \text{ dB.}
 \end{aligned}$$

Compte tenu de ce qui précède et du système décrit dans le Tableau 2, les critères à prendre en compte dans la bande 400,15-401 MHz sont les suivants:

- critère à long terme = -157 dBW/177,5 kHz
- critère à court terme (0,0125%) = -147 dBW/177,5 kHz.

4 Service de météorologie par satellite dans la bande 1 698-1 710 MHz

Dans la bande 1 690-1 710 MHz, la sous-bande 1 698-1 710 MHz est utilisée pour les systèmes du service de météorologie par satellite utilisant des orbites terrestre basses, conformément à la Recommandation UIT-R SA.1745.

Les analyses de qualité du système de transmission d'images à haute résolution (HRPT, *high resolution picture transmission*) et du système de commande et acquisition de données (CAD), qui font respectivement appel à des stations terriennes de grandes dimensions dans le premier cas et de petites dimensions dans le second, supposent que le satellite est à une altitude de 844 km. Ces systèmes reçoivent les signaux issus d'un même satellite, qui emploie une antenne à faisceau modelé afin de compenser partiellement les affaiblissements de propagation qui augmentent lorsqu'on se rapproche du limbe de la Terre, par rapport au nadir. L'angle de déphasage du modulateur à déplacement de fréquence du satellite est d'environ 67 degrés, ce qui se traduit par une porteuse résiduelle facilitant l'acquisition du signal et la démodulation cohérente. Cela réduit un peu la puissance des signaux de données. Dans le cas des stations de grandes dimensions, on utilise un débit de 2,667 Mbit/s et un codage sans retour au niveau zéro (NRZ-L), ce qui procure une largeur de bande de référence de 5,334 MHz. Dans le cas des stations de petites dimensions, on utilise un débit de données de 0,667 Mbit/s dans la bande de base avec un codage biphasé, donnant une largeur de bande de référence de 2,668 MHz.

Un système futur transmettra des données à faible débit sur la liaison descendante à 3,393 Mbit/s à partir d'un engin spatial à 828 km d'altitude. Trois types de stations terriennes auront des dimensions d'antenne de 1 m, 3 m et 13 m. L'antenne de 1 m est la seule qui ne nécessite pas d'analyse de brouillage.

Les antennes de grande dimension ont une plus petite ouverture de faisceau et sont donc moins vulnérables aux brouillages.

Dans l'application de la méthode de la Recommandation UIT-R SA.1022, on peut utiliser la fourchette de paramètres de brouillage suivante pour calculer les critères de brouillage:

$$q \text{ (long terme)} = 0,3 \text{ à } 0,6$$

$$q \text{ (court terme)} = 1$$

$$M_{min} \text{ (long terme)} = M_{min} \text{ (court terme)} = 1,2 \text{ dB.}$$

Compte tenu de ce qui précède, parmi les systèmes décrits dans le Tableau 2, le système B peut être considéré comme le système le plus représentatif, ce qui amène à prendre en compte les critères suivants dans la bande 1 698-1 710 MHz:

- critère à long terme = -146 dBW/2 668 kHz
- critère à court terme (0,0125%) = -138 dBW/2 668 kHz.

5 Service de météorologie par satellite dans la bande 7 750-7 900 MHz

Plusieurs nouveaux systèmes en orbite terrestre basse du service de météorologie par satellite fonctionnent déjà, ou devraient fonctionner, dans la bande 7 750-7 900 MHz.

Certains de ces systèmes transmettent des données enregistrées de missions (acquisition de données enregistrées) à la station terrienne de commande et d'acquisition de données (CDA), généralement sur les hautes latitudes nord. Les diamètres de l'antenne de réception de la station terrienne sont généralement d'environ 10 m, ce qui donne un gain d'antenne de 55 dBi. La température du bruit du système de la station terrienne se situe aux alentours de 180 K. On suppose que l'angle d'élévation minimal est de 5°. Le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ théoriquement requis est de 7,2 dB pour obtenir un TEB de 10^{-7} . On a choisi une largeur de bande de référence de 10 MHz. La hauteur de l'orbite du satellite est de l'ordre de 832 km.

D'autres satellites utilisant cette bande de fréquences transmettent des signaux à haut débit de données (jusqu'à environ 80 Mbit/s) entre le satellite et trois types de stations terriennes dotées d'antennes de 2 m, 3 m et 10 m de diamètre. Les antennes de 2 m et de 3 m de diamètre sont plus vulnérables aux brouillages.

Dans l'application de la méthode de la Recommandation UIT-R SA.1022, on peut utiliser la fourchette de paramètres de brouillage suivante pour calculer les critères de brouillage:

$$q \text{ (long terme)} = 0,1$$

$$q \text{ (court terme)} = 1$$

$$M_{min} \text{ (long terme)} = M_{min} \text{ (court terme)} = 4,5 \text{ dB.}$$

Compte tenu de ce qui précède, parmi les systèmes décrits dans le Tableau 2, le système D peut être considéré comme le système le plus représentatif, ce qui amène à prendre en compte les critères suivants dans la bande 7 750-7 900 MHz:

- critère à long terme = -144 dBW/10 MHz
- critère à court terme (0,0125%) = -127 dBW/10 MHz.

6 Service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) dans la bande 8 025-8 400 MHz

Cinq systèmes de référence sont envisagés pour les systèmes du SETS fonctionnant dans la bande 8 025-8 400 MHz. Le système A comprend un satellite placé sur une orbite à 750 km qui transmet des données enregistrées à très haut débit (325 Mbit/s) vers une installation principale d'acquisition de données. Le satellite emploie une antenne isotrope. Le système B comprend un satellite placé sur une orbite à 850 km qui transmet également des données enregistrées à haut débit (200 Mbit/s), mais utilise une antenne directive. Le système C comprend un satellite placé sur une orbite à 750 km qui transmet un signal de lecture directe de données mesurées en temps réel vers plusieurs stations terriennes réparties à faible coût à 20 Mbit/s. Le système D est semblable au système A, mais avec une modulation MDP-8. Le système E est aussi semblable au système A, mais avec une orbite à 820 km.

Mis à part le système D, tous ces systèmes emploient la modulation de type MDP-4. Dans l'application de la méthode de la Recommandation UIT-R SA.1022, on peut utiliser la fourchette de paramètres de brouillage suivante pour calculer les critères de brouillage:

$$q \text{ (long terme)} = 0,1$$

$$q \text{ (court terme)} = 1$$

$$M_{min} \text{ (long terme)} = M_{min} \text{ (court terme)} = 4,5 \text{ dB.}$$

Compte tenu de ce qui précède, parmi les systèmes décrits dans le Tableau 2, le système E peut être considéré comme le système le plus représentatif, ce qui amène à prendre en compte les critères suivants dans la bande 8 025-8 400 MHz:

- critère à long terme = -147 dBW/10 MHz
- critère à court terme (0,0125%) = -133 dBW/10 MHz.

7 SETS dans la bande 25,5-27,0 GHz

Plusieurs systèmes de référence sont également envisagés pour les systèmes du SETS fonctionnant dans la bande 25,5-27,0 GHz.

Le système de référence A comprend un satellite sur une orbite à 822 km qui transmet dans deux modes. Le premier mode transmet des signaux de données enregistrées à très haut débit (1 Gbit/s) vers une installation principale d'acquisition de données. Le second mode transmet des signaux de lecture directe de données à faible débit (40 Mbit/s) mesurées en temps réel vers des stations terriennes réparties à faible coût.

Le système de référence B se compose d'un satellite placé sur une orbite à 698 km, avec une liaison pour la lecture directe à grande vitesse de données à très haut débit (1 Gbit/s) mesurées en temps réel vers des stations terriennes réparties à faible coût.

Les systèmes de référence C et D transmettent un signal de données enregistrées de missions à environ 131,2 Mbit/s depuis un satellite placé à environ 828 km d'altitude. Le système de référence E transmet aussi un signal de données enregistrées de missions à environ 390 Mbit/s depuis un satellite placé à environ 832 km d'altitude.

Dans l'application de la méthode de la Recommandation UIT-R SA.1022, on peut utiliser la fourchette de paramètres de brouillage suivante pour calculer les critères de brouillage:

$$q \text{ (long terme)} = 0,1$$

$$q \text{ (court terme)} = 1$$

$$M_{min} \text{ (long terme)} = M_{min} \text{ (court terme)} = 4,5 \text{ dB.}$$

Compte tenu de ce qui précède, parmi les systèmes décrits dans le Tableau 2, le système E peut être considéré comme le système le plus représentatif, ce qui amène à prendre en compte les critères suivants dans la bande 25,5-27 GHz:

- critère à long terme = -140 dBW/10 MHz
- critère à court terme (0,0125%) = -116 dBW/10 MHz.
