

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Rapport UIT-R SM.2450-0
(06/2019)

**Études de partage et de compatibilité entre
le service mobile terrestre, le service fixe
et les services passifs dans la gamme
de fréquences 275-450 GHz**

Série SM
Gestion du spectre



Union
internationale des
télécommunications

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 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 œuvre 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 Rapports UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REP/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 radiorepérage 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

Note: Ce Rapport UIT-R a été approuvé en anglais par la Commission d'études aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2020

© UIT 2020

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.

RAPPORT UIT-R SM.2450-0

**Études de partage et de compatibilité entre le service mobile terrestre,
le service fixe et les services passifs dans la gamme
de fréquences 275-450 GHz**

(2019)

Aperçu général

Le présent rapport contient plusieurs études sur le partage de fréquences entre les services passifs (SETS et SRA) et les services fixe et mobile terrestre dans la gamme de fréquences 275-450 GHz¹. Les études de compatibilité fondées sur les renseignements techniques disponibles concernant les caractéristiques du service mobile terrestre (SMT) et du service fixe (SF), renseignements issus des Rapports UIT-R M.2417-0 et UIT-R F.2416-0, ont pour objectif de trouver des fréquences susceptibles d'être utilisées par les applications du SMT/SF sans qu'il soit nécessaire d'imposer des restrictions particulières pour protéger les applications des services passifs (SRA et SETS (passive)). Les caractéristiques des services passifs, quant à elles, sont reprises des Rapports UIT-R RA.2189-1 et UIT-R RS.2431-0.

La plupart des études ont permis de conclure que dans les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 320-330 GHz et 356-450 GHz uniquement, il n'était pas nécessaire de protéger le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) dès lors que les systèmes respectent les paramètres indiqués dans les Rapports de l'UIT cités en référence. Les auteurs de ces études n'ont toutefois pas cherché à déterminer dans quelles conditions (par exemple au regard des limites de puissance, des besoins de protection et/ou des contraintes d'angle d'élévation) d'autres bandes de fréquences pouvaient être partagées avec le SETS.

Les études de compatibilité ont permis de conclure que quels que soient les affaiblissements en espace libre, l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la gamme de fréquences 275-450 GHz ne suffit pas à assurer la compatibilité entre le fonctionnement du SF et celui du SRA en l'absence d'autres considérations. Il conviendrait de prendre en compte les distances de séparation et/ou les angles d'évitement entre les stations du SRA et celles du SF en fonction des conditions de déploiement des stations du SF.

¹ Bien que certaines bandes de fréquences aient aussi été identifiées pour des applications du service de recherche spatiale (passive) au numéro **5.565** du RR, aucune étude n'a été menée à ce sujet.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>	
1	Introduction	5
	1.1 Méthode	5
	1.2 Structure du Rapport.....	5
2	Recommandations et Rapports connexes de l'UIT-R.....	6
3	Liste d'acronymes et d'abréviations	7
4	Informations sur la réglementation au-dessus de 275 GHz.....	8
5	Caractéristiques des systèmes.....	8
	5.1 Caractéristiques des systèmes des applications du service mobile terrestre fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz	8
	5.1.1 Systèmes mobiles dans l'environnement proche.....	8
	5.1.2 Communications intradispositif	12
	5.1.3 Liaisons hertziennes dans les centres de données.....	13
	5.2 Caractéristiques des applications du service fixe fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz	14
	5.2.1 Liaisons de raccordement point à point vers l'avant et vers l'arrière	14
	5.3 Caractéristiques des systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande de fréquences 275-450 GHz.....	18
	5.4 Caractéristiques des systèmes du service d'exploration de la Terre par satellite (passive) fonctionnant dans la bande de fréquences 275-450 GHz.....	22
6	Considérations sur les études de partage et de compatibilité	27
	6.1 SRA.....	27
	6.2 SETS (passive).....	29
7	Scénarios de brouillages causés par des applications du service mobile terrestre ou du service fixe fonctionnant dans la bande 275-450 GHz à des applications du service passif utilisant les bandes de fréquences identifiées au numéro 5.565 du RR	32
	7.1 Scénarios de brouillages causés par des applications du SMT fonctionnant dans la bande 275-450 GHz au SETS (passive) et au SRA.....	32
	7.2 Scénarios de brouillages causés par des applications du SF fonctionnant dans la bande 275-450 GHz au SETS (passive) et au SRA.....	33
8	Études de partage et de compatibilité concernant le SETS (passive).....	34
	8.1 Études de partage et de compatibilité entre des applications du SMT et des applications du Service d'exploration de la Terre par satellite (passive).....	34
	8.2 Études de partage et de compatibilité entre des applications du SF et des applications du SETS (passive).....	35
	8.3 Résumé des études de partage et de compatibilité concernant le SETS (passive).....	35

9	Études de partage et de compatibilité concernant le SRA.....	36
9.1	Études de partage et de compatibilité entre des applications du SMT et le service de radioastronomie	36
9.2	Études de partage entre les applications du SF et le service de radioastronomie	36
9.3	Résumé des études de partage et de compatibilité concernant le SRA	37
	Annexe 1	38
	Annexe 2 – Extrapolation de l'affaiblissement dû aux bâtiments et de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles indiqués dans les Recommandations UIT-R P.2108 et UIT-R P.2109 pour les études de partage et de compatibilité	40
	Annexe 3 – Résultat des mesures du diagramme de rayonnement d'antenne à 300 GHz.....	43
	Annexe 4 – Études de partage entre des applications du service mobile terrestre et du service fixe et le service d'exploration de la Terre par satellite	45
	A4.1 Introduction.....	45
	A4.2 Étude 1: Analyse statique de partage entre le SF/SMT et le SETS (passive).....	45
	A4.2.1 Niveaux d'émission maximaux admissibles pour une seule source de brouillage.....	45
	A4.2.2 Niveaux d'émission maximaux pour une seule source de brouillage causé par des systèmes du SF.....	49
	A4.2.3 Résumé de l'étude 1.....	49
	A4.3 Étude 2: Évaluation des brouillages causés par le SF au SETS (passive).....	50
	A4.3.1 Évaluation des brouillages causés par une seule source du SF au SETS (passive).....	50
	A4.3.2 Évaluation des brouillages cumulatif causés par le SF au SETS (passive)	53
	A4.3.3 Résumé.....	56
	A4.4 Étude 3: Analyses de compatibilité entre le SETS (passive) et le SF/SMT dans la gamme de fréquences 275-450 GHz	56
	A4.4.1 Méthode d'analyse.....	56
	A4.4.2 Caractéristiques des systèmes du SETS (passive)	57
	A4.4.3 Caractéristiques des applications du SF et du SMT.....	60
	A4.4.4 Résultat des simulations.....	62
	A4.4.5 Résumé de l'étude 3.....	73
	A4.5 Étude 4: Analyse de partage entre plusieurs stations du SF/SMT et le SETS (passive) entre 275 et 325 GHz	73
	A4.5.1 Introduction.....	73
	A4.5.2 Niveau de puissance reçue par le capteur passif du SETS.....	73

	<i>Page</i>
A4.5.3 Déploiement du CPMS	74
A4.5.4 Déploiement du SF.....	75
A4.5.5 Niveau de puissance reçue par les capteurs du SETS (passive).....	75
A4.5.6 Résumé de l'étude 4.....	80
A4.6 Étude 5: Analyses de compatibilité entre le SETS (passive) et le SF dans la gamme de fréquences 275-450 GHz (brouillages cumulatifs)	80
A4.6.1 Caractéristiques du SETS (passive)	80
A4.6.2 Caractéristiques et déploiement du SF.....	81
A4.6.3 p.i.r.e. maximale du SF dans la direction des satellites du SETS (passive)	83
A4.6.4 Études de partage avec un système particulier (ICI) du SETS (passive)	88
A4.6.5 Analyse générique dans toutes les bandes du SETS (passive).....	89
A4.6.6 Résumé de l'étude 5.....	97
A4.6.7 Annexe 1 à l'étude 5 – Méthode employée pour déduire le nombre de liaisons du SF dans le cadre d'un déploiement en fonction de la population.....	98
Annexe 5 – Études de partage entre les applications du SF et le service de radioastronomie..	101
A5.1 Introduction.....	101
A5.2 Étude 1: Analyse de compatibilité entre le SRA et le SF dans la bande de fréquences 275-450 GHz	101
A5.2.1 Hypothèses et configurations géométriques.....	101
A5.2.2 Résultats	103
A5.2.3 Résumé.....	106
A5.3 Étude 2: Analyse de compatibilité entre le SF et le SRA dans la bande de fréquences 275-325 GHz	106
A5.3.1 Sites du SRA	107
A5.3.2 Protection des stations du SRA contre les stations du SF fonctionnant dans la bande 275-350 GHz.....	107
A5.3.3 Résumé de l'Étude 2.....	109
A5.4 Étude 3: Protection des stations du SRA contre les stations du SF fonctionnant dans la bande 275-450 GHz	109

1 Introduction

Le point 1.15 de l'ordre du jour de la CRM-19 prévoit de mener des études pour identifier des bandes de fréquences que les administrations pourraient utiliser pour les applications des services mobile terrestre et fixe fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz, conformément à la Résolution **767 (CMR-15)**. Dans cette Résolution, l'UIT-R est invité à mener des études de partage et de compatibilité entre les applications du service mobile terrestre (SMT) et du service fixe (SF) et les applications des services passifs qui devraient fonctionner dans la gamme de fréquences 275-450 GHz. Elle est également invitée à identifier des bandes de fréquences possibles en vue de leur utilisation par les systèmes du SMT et du SF tout en assurant la protection des applications des services passifs identifiées au numéro **5.565** du RR.

On trouvera dans le présent Rapport les résultats des études de partage et de compatibilité entre les applications du SMT et du SF qui devraient fonctionner dans la gamme de fréquences 275-450 GHz et les applications des services passifs (service de radioastronomie et service d'exploration de la Terre par satellite (passive)).

1.1 Méthode

La méthode adoptée pour effectuer ces études consiste à examiner l'utilisation de la gamme de fréquences 275-450 GHz ou des parties de cette gamme susceptibles d'être employées pour les applications du service mobile terrestre et du service fixe sans conditions particulières, compte tenu des caractéristiques des systèmes identifiées jusqu'à présent.

1.2 Structure du Rapport

Les § 2 à 4 contiennent respectivement des informations générales concernant les Recommandations et les Rapports connexes de l'UIT-R, les acronymes et abréviations employés et d'autres informations pertinentes issues du Règlement des radiocommunications (RR).

Le § 5 offre un résumé des caractéristiques des applications des services mobile terrestre, fixe, de radioastronomie et d'exploration de la Terre par satellite (passive) qui ont été identifiées jusqu'à présent.

Le § 6 porte plus particulièrement sur les études de partage et de compatibilité sur le SRA et le SETS (passive).

Le § 7 contient une description des différents scénarios de brouillage examinés dans le présent Rapport.

Les § 8 et 9 reprennent les résultats des études de partage et de compatibilité sur le SETS (passive) et le SRA.

Les analyses détaillées sont jointes dans les Annexes au présent Rapport:

- L'Annexe 1 contient un résumé des bandes présentant un intérêt pour le SETS (passive).
- L'Annexe 2 présente des estimations de l'affaiblissement médian dû aux bâtiments et de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles qui sont pris en compte dans les études.
- L'Annexe 3 contient le diagramme de rayonnement d'antenne employé dans certaines études figurant dans les Annexes 4 et 5.
- L'Annexe 4 rassemble les études de partage entre les applications du SMT et du SF et les applications du service d'exploration de la Terre par satellite (SETS passive).
- L'Annexe 5 contient les études de partage entre les applications du SF et les applications du SRA.

2 Recommandations et Rapports connexes de l'UIT-R

Recommandation UIT-R F.699	Diagrammes de rayonnement de référence pour antennes de systèmes hertziens fixes à utiliser pour les études de coordination et l'évaluation du brouillage dans la gamme de fréquences comprise entre 100 MHz et 70 GHz environ
Recommandation UIT-R F.1245	Modèle mathématique de diagrammes de rayonnement moyens et de diagrammes de rayonnement connexes pour antennes de systèmes hertziens fixes point à point, à utiliser pour l'évaluation du brouillage dans la gamme de fréquences comprise entre 1 GHz et 70 GHz environ
Recommandation UIT-R P.452	Méthode de prévision pour évaluer les brouillages entre stations situées à la surface de la Terre à des fréquences supérieures à 0,1 GHz environ
Recommandation UIT-R P.525	Calcul de la propagation en espace libre
Recommandation UIT-R P.619	Données sur la propagation nécessaires à l'évaluation des brouillages entre des stations dans l'espace et des stations situées à la surface de la Terre
Recommandation UIT-R P.676	Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère et effets associés
Recommandation UIT-R P.840	Affaiblissement dû aux nuages et au brouillard
Recommandation UIT-R P.2108	Prévision de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles
Recommandation UIT-R P.2109	Prévision de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments
Recommandation UIT-R RA.314	Bandes de fréquences préférées pour les mesures en radioastronomie. Cette Recommandation définit les fréquences des raies spectrales les plus importantes pour la radioastronomie dans la bande 275-450 GHz. Dans ce contexte, les raies spectrales du monoxyde de carbone (CO) à 345,777 GHz et 330,588 GHz présentent un intérêt exceptionnel pour la radioastronomie.
Recommandation UIT-R RA.769	Critères de protection applicables aux mesures en radioastronomie
Recommandation UIT-R RA.1031	Protection du service de radioastronomie dans les bandes de fréquences utilisées en partage avec d'autres services
Recommandation UIT-R RA.1272	Protection des mesures de radioastronomie au-dessus de 60 GHz contre les brouillages d'origine terrestre
Recommandation UIT-R RA.1513	Niveaux de perte de données pour les observations de radioastronomie et critères de pourcentage de temps découlant des dégradations générées par les brouillages, dans le cas des bandes de fréquences attribuées à titre primaire au service de radioastronomie

Recommandation UIT-R RS.1813	Diagramme d'antenne de référence pour les détecteurs passifs fonctionnant dans le service d'exploration de la Terre par satellite (passive) à utiliser dans les analyses de compatibilité, pour les fréquences comprises entre 1,4 et 100 GHz
Recommandation UIT-R RS.2017	Critères de qualité de fonctionnement et de brouillage pour la télédétection passive par satellite
Rapport UIT-R F.2239	Coexistence entre le service fixe fonctionnant dans les bandes de fréquences 71-76 GHz, 81-86 GHz et 92-94 GHz et les services passifs
Rapport UIT-R_F.2416	Caractéristiques techniques et opérationnelles des applications point à point du service fixe fonctionnant dans la bande de fréquences 275-450 GHz
Rapport UIT-R M.2417	Technical and operational characteristics and applications of the land mobile service operating in the frequency band 275-450 GHz
Rapport UIT-R RA.2189	Partage entre le service de radioastronomie et les services actifs dans la gamme de fréquences 275-3 000 GHz
Rapport UIT-R RS.2194	Bandes passives présentant un intérêt scientifique pour le SETS et le service de recherche spatiale entre 275 et 3 000 GHz
Rapport UIT-R RS.2431	Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes du SETS (passive) dans la gamme de fréquences 275-450 GHz
Rapport UIT-R SM.2352	Lignes d'évolution technologique des services actifs exploités dans la gamme de fréquences 275-3 000 GHz

3 Liste d'acronymes et d'abréviations

BBU	unité en bande de base (<i>base band unit</i>)
CPMS	système mobile dans l'environnement proche (<i>close proximity mobile system</i>)
CPMS MT	terminal mobile du système mobile dans l'environnement proche (<i>close proximity mobile system mobile terminal</i>)
MIMO	entrées multiples/sorties multiples (antenne) (<i>multiple-input and multiple-output</i>)
RRH	tête radio distante (<i>remote radio head</i>)
SETS	service d'exploration de la Terre par satellite
SF CPMS	station fixe du système mobile dans l'environnement proche (<i>close proximity mobile system fixed station</i>)
SF IFOV	champ de vision instantané du service fixe (<i>fixed service instantaneous field of view</i>)
SMT	service mobile terrestre
SRA	service de radioastronomie

4 Informations sur la réglementation au-dessus de 275 GHz

Le RR ne prévoit aucune attribution de fréquences au-dessus de 275 GHz.

Les bandes de fréquences attribuées aux applications des services passifs sont identifiées au numéro **5.565** du RR, de la manière indiquée ci-dessous:

5.565 Les bandes de fréquences suivantes dans la gamme 275-1 000 GHz sont identifiées pour être utilisées par les administrations pour les applications des services passifs:

- service de radioastronomie: 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz, 426-442 GHz, 453-510 GHz, 623-711 GHz, 795-909 GHz et 926-945 GHz;
- service d'exploration de la Terre par satellite (passive) et service de recherche spatiale (passive): 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz, 439-467 GHz, 477-502 GHz, 523-527 GHz, 538-581 GHz, 611-630 GHz, 634-654 GHz, 657-692 GHz, 713-718 GHz, 729-733 GHz, 750-754 GHz, 771-776 GHz, 823-846 GHz, 850-854 GHz, 857-862 GHz, 866-882 GHz, 905-928 GHz, 951-956 GHz, 968-973 GHz et 985-990 GHz.
- L'utilisation de la gamme de fréquences 275-1 000 GHz par les services passifs n'exclut pas l'utilisation de cette gamme de fréquences par les services actifs. Les administrations souhaitant mettre à disposition des fréquences dans la gamme 275-1 000 GHz pour les applications des services actifs sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger ces services passifs contre les brouillages préjudiciables jusqu'à la date d'établissement du Tableau d'attribution des bandes de fréquences pour la gamme de fréquences 275-1 000 GHz susmentionnée.
- Toutes les fréquences de la gamme 1 000-3 000 GHz peuvent être utilisées à la fois par les services actifs et les services passifs. (CMR-12)

5 Caractéristiques des systèmes

5.1 Caractéristiques des systèmes des applications du service mobile terrestre fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz

5.1.1 Systèmes mobiles dans l'environnement proche

Les systèmes mobiles dans l'environnement proche (CPMS) permettent de transférer des fichiers volumineux en quelques secondes. On les retrouve par exemple dans les systèmes de téléchargement en kiosque ou au portique grâce auxquels il est possible de télécharger un film sur un dispositif mobile. Ces systèmes sont généralement connectés à des réseaux filaires et acheminent des données par voie hertzienne vers des dispositifs mobiles dans des zones publiques telles que des gares, des aéroports, etc. La distance entre l'utilisateur et le terminal du kiosque ou du portique est en général inférieure à 10 cm.

L'ensemble des caractéristiques techniques et opérationnelles prévues pour les systèmes mobiles dans l'environnement proche qui devraient fonctionner dans les bandes 275-325 GHz et 275-450 GHz sont indiquées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

**Caractéristiques techniques et opérationnelles prévues des applications
CPMS mobiles terrestres qui devraient fonctionner dans
la bande de fréquences 275-450 GHz**

Paramètre	Valeur	
	Application CPMS	Application CPMS améliorée
Bande de fréquences (GHz)	275-325	275-450
Densité de déploiement ⁽¹⁾	0,6 dispositif/km ²	0,6 dispositif/km ²
Densité de puissance en sortie à l'émetteur (dBm/GHz)	-3,8...6.9	-10,1...6.7
Densité de p.i.r.e. max. (dBm/GHz)	26,2.....36,9	19,9...36,7
Méthode duplex	DRF/DRT	DRF/DRT
Modulation	OOK/MDPB/ MDPQ/ MAQ-16/MAQ-64 MDPB-MROF/ MDPQ-MROF / MAQ-16-MROF / MAQ-32-MROF / MAQ-64-MROF	OOK/MDPB/ MDPQ/ MAQ-16/MAQ-64/ MDP-8/MDAP-8 MDPB-MROF/ MDPQ-MROF / MAQ-16-MROF / MAQ-32-MROF / MAQ-64-MROF
Distance moyenne entre les dispositifs fixe et mobile du CPMS (m)	0,1	0,1
Distance maximale entre les dispositifs fixe et mobile du CPMS (m)	1	1
Hauteur de l'antenne (m)	1...2	-
Ouverture du faisceau de l'antenne (degrés)	3...10	5...90
Élévation de l'antenne (degrés)	±90	±90
Réutilisation des fréquences	1	1
Type d'antenne	Cornet	Cornet
Diagramme d'antenne	Gaussien	Gaussien
Polarisation de l'antenne	Linéaire	Linéaire
Déploiement de dispositifs fixes du CPMS à l'intérieur de bâtiments (%)	100	90
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation (dB)	2	2
Puissance maximale en sortie des dispositifs fixes et mobiles du CPMS (dBm)	10	10
Largeur de bande du canal (GHz)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,8	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,84/69,12/103,68
Gabarit spectral d'émetteur	Indiqué dans la Fig. 1 et le Tableau 2	Indiqué dans la Fig. 1 et le Tableau 2

TABLEAU 1 (*fin*)

Paramètre	Valeur	
	Application CPMS	Application CPMS améliorée
Gain d'antenne maximum des dispositifs fixes du CPMS (dBi)	30	30
Gain d'antenne maximum des dispositifs mobiles du CPMS (dBi)	15	15
Puissance maximale en sortie des dispositifs fixes du CPMS (p.i.r.e.) (dBm)	40	40
Puissance maximale en sortie des dispositifs mobiles du CPMS (p.i.r.e.) (dBm)	25	25
Facteur d'activité moyen (%)	0,76	0,2
Puissance moyenne des dispositifs fixes du CPMS (p.i.r.e.) (dBm)	20	20
Facteur type de bruit dans le récepteur (dB)	15	15

⁽¹⁾ On trouvera plus loin des informations détaillées sur la densité de déploiement.

Le gabarit spectral suivant, qui est repris de la norme IEEE 802.15.3d-2017 et qui est illustré dans la Fig. 1 et le Tableau 2, a été employé dans l'étude sur les CPMS.

FIGURE 1
Gabarit spectral d'émetteur générique

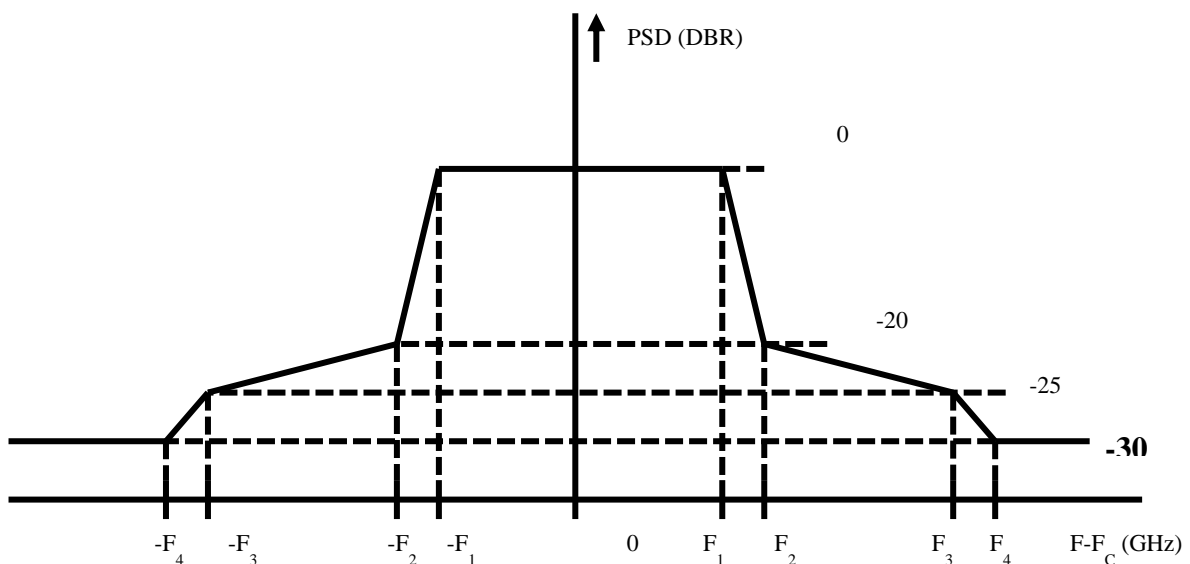


TABLEAU 2
Paramètres du gabarit spectral d'émetteur

Largeur de bande du canal (GHz)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)	f_4 (GHz)
2,160	0,94	1,10	1,60	2,20
4,320	2,02	2,18	2,68	3,28
8,640	4,18	4,34	4,84	5,44
12,960	6,34	6,50	7,00	7,60
17,280	8,50	8,66	9,16	9,76
25,920	12,82	12,98	13,48	14,08
51,840	25,78	25,94	26,44	27,04
69,120	34,42	34,58	35,08	35,68

Densité de déploiement et facteur d'activité des stations du CPMS (systèmes de téléchargement en kiosque)

Les systèmes de téléchargement en kiosque, qui sont surtout déployés à l'intérieur des bâtiments, seront utilisés dans des gares, des terminaux d'aéroport et des commerces de proximité. Comme le nombre de gares et d'aéroports est très inférieur à celui des commerces de proximité, il convient d'utiliser la densité de déploiement des terminaux de kiosque dans ces commerces aux fins des études de partage et de compatibilité, et d'ignorer les déploiements dans les gares et les aéroports. Le Japon compte au total 55 129 commerces de proximité, mais comme le montre le Tableau 3, 19 571 de ces commerces, soit 35%, sont répartis dans la région de Kanto, qui s'étend sur 32 420 km². La densité de déploiement à Kanto est donc de 0,6 commerce par km², tandis que celle de Tokyo, qui est la plus élevée du pays, est de 3,28 commerces par km².

Le nombre moyen de clients des grands commerces de proximité au Japon est d'environ 1 000 personnes par jour, mais les magasins les plus fréquentés, qui sont situés près des gares de Tokyo, peuvent recevoir près de 2 000 clients par jour. Pour évaluer le facteur d'activité des kiosques du CPMS, nous avons formé les hypothèses suivantes:

1	Nombre moyen de clients des commerces de proximité	1 000/jour
2	Proportion de clients porteurs de dispositifs CPMS	20%
3	Nombre de films de 2 h téléchargés par client du CMPS	2
4	Débit des dispositifs CPMS	6,9 Gb/s (voir Tableau 4)
5	Durée intrinsèque de téléchargement par client	2,2 sec.
6	Temps total de téléchargement	440 sec.
7	Horaires d'ouverture habituels des commerces	7 h-23 h (57 600 sec.)
8	Facteur d'activité estimé par commerce	0,76 %

TABLEAU 3

Nombre de commerces de proximité et de gares dans la région de Kanto

Zone métropolitaine et préfecture	Nombre de commerces de proximité	Taille (km ²)
Tokyo	7 183	2 190
Kanagawa	3 765	2 415
Saitama	2 833	3 797
Chiba	2 637	5 157
Ibaraki	1 315	6 096
Gunma	950	6 362
Tochigi	888	6 408
Région de Kanto ⁽¹⁾	19 571	32 425

⁽¹⁾ Kanto est le nom de la région dans laquelle se trouvent la zone métropolitaine de Tokyo et les six préfectures ci-dessus.

TABLEAU 4

Estimation de la durée de téléchargement d'une revue et d'un film

Type de contenu	Taille du fichier (MB)	Durée de téléchargement (sec)		
		Débit de 4,6 Gb/s	Débit de 6,9 Gb/s	Débit de 66 Gb/s*
Revue	300	0,5	0,3	0,03
Film (de 2 heures) en H.265 (haute définition)	900	1,6	1,1	0,11

5.1.2 Communications intradispositif

Les communications intradispositif sont assurées par des liaisons hertziennes de grande capacité (térahertz) qui peuvent connecter deux cartes à circuit imprimé (PCB), voire des microprocesseurs sur une même PCB à l'intérieur d'un dispositif. Elles permettent de simplifier la conception d'une carte, le câblage entre plusieurs modules, etc. En général, ces dispositifs sont protégés pour éviter l'entrée et la sortie de signaux au THz. L'importance de cette protection et la proportion de dispositifs qui devraient être protégés n'étaient pas connues à la date de rédaction du présent Rapport. Ces informations devront faire l'objet d'études ultérieures si elles deviennent disponibles.

Les plages de caractéristiques techniques et opérationnelles prévues des liaisons intradispositif hertziennes au THz fonctionnant dans la bande 275-450 GHz sont indiquées dans le Tableau 5. Le gabarit spectral d'émetteur et ses paramètres sont identiques à ceux qui ont été indiqués pour les applications CPMS dans la Fig. 1 et le Tableau 2.

TABLEAU 5

**Caractéristiques techniques et opérationnelles prévues des liaisons intradispositif
au THz fonctionnant dans la bande de fréquences 275-450 GHz**

Paramètre	Valeur
Bande de fréquences (GHz)	275-450
Densité de déploiement	0,23/km ² ⁽¹⁾
Puissance maximale en sortie du dispositif (dBm)	10
Puissance maximale en sortie du dispositif (p.i.r.e.) (dBm)	30
Densité de puissance maximale en sortie à l'émetteur (dBm/GHz)	-10,1...6,7
Densité de p.i.r.e. maximale (dBm/GHz)	19,9...36,7
Déploiement à l'intérieur de bâtiments (%)	50
Méthode duplex	DRT, DRF, DRE
Modulation	OOK/ MDPB/ MDPQ/MAQ-16/MAQ-64 MDP-8/MDAP-8
Distance maximale entre les dispositifs	<1 m
Hauteur de l'antenne (m)	1...3
Ouverture du faisceau de l'antenne (degrés)	15...180 (prévu)
Réutilisation des fréquences	1
Diagramme d'antenne	Gaussien
Polarisation de l'antenne	Linéaire
Largeur de bande du canal (GHz)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28//25,92/51,84/69,12/103,68
Gain d'antenne maximum des dispositifs (dBi)	20
Gain d'antenne type prévu pour les dispositifs (dBi)	6
Activité maximale des dispositifs (%)	100
Facteur type de bruit dans le récepteur (dB)	10 ⁽²⁾

⁽¹⁾ La densité de déploiement a été estimée en calculant une moyenne, dans l'hypothèse d'une personne sur mille utilisant ce dispositif en Allemagne. Dans les zones très peuplées, cette densité pourrait augmenter pour atteindre par exemple 3,95/km² si la même hypothèse est conservée.

⁽²⁾ On trouve aussi parfois dans les publications des facteurs de bruit très bas de 8 dB. La valeur indiquée ici représente le scénario le plus défavorable, compte tenu des paramètres connus.

5.1.3 Liaisons hertziennes dans les centres de données

L'emploi de liaisons hertziennes dans les centres de données vise à offrir une certaine souplesse en permettant de reconfigurer des trajets au sein d'un centre de données sans avoir à refaire de nombreux câblages. Les plages de caractéristiques techniques et opérationnelles prévues pour les liaisons hertziennes des centres de données fonctionnant dans la bande 275-450 GHz sont indiquées dans le Tableau 6. Cette application est strictement destinée à un usage à l'intérieur des bâtiments. Cependant, la valeur de l'affaiblissement dû aux bâtiments qui devra être utilisée dans les études n'est pas connue avec précision pour le moment. On trouvera à l'Annexe 2 de plus amples détails sur cet affaiblissement.

Une largeur de bande de 50 GHz est nécessaire pour atteindre un débit d'au moins 100 Gbit/s avec une simple modulation MDPQ et assurer la compatibilité avec des liaisons Ethernet à 100 Gbit/s. Le gabarit spectral d'émetteur et ses paramètres sont identiques à ceux qui ont été indiqués pour les applications CPMS dans la Fig. 1 et le Tableau 2.

TABLEAU 6

Caractéristiques techniques et opérationnelles prévues pour les liaisons hertziennes dans les centres de données fonctionnant dans la bande de fréquences 275-450 GHz

Paramètre	Valeur
Bande de fréquences (GHz)	275-450
Densité de déploiement	0,07/km ²
Puissance maximale en sortie du dispositif (dBm)	10
Puissance maximale en sortie du dispositif (p.i.r.e.) (dBm)	40
Densité de puissance en sortie à l'émetteur (dBm/GHz)	-10,1...6,7
Densité de p.i.r.e. (dBm/GHz)	9,9...26,7
Méthode duplex	DRT, DRF, DRE
Modulation	OOK/ MDPB/ MDPQ/MAQ-16/MAQ-64 MDP-8/MDAP-8
Distance maximale entre les dispositifs	100 m
Ouverture du faisceau de l'antenne (degrés)	< 25 (prévu)
Réutilisation des fréquences	1
Diagramme d'antenne	Gaussien
Polarisation de l'antenne	Linéaire
Déploiement à l'intérieur des bâtiments (%)	100
Largeur de bande du canal (GHz)	2,16/4,32/8,64/12,96/17,28/ 25,92/51,84/69,12/103,68
Gain d'antenne maximum des dispositifs (dBi)	30
Activité maximale des dispositifs (%)	100
Facteur type de bruit dans le récepteur (dB)	10

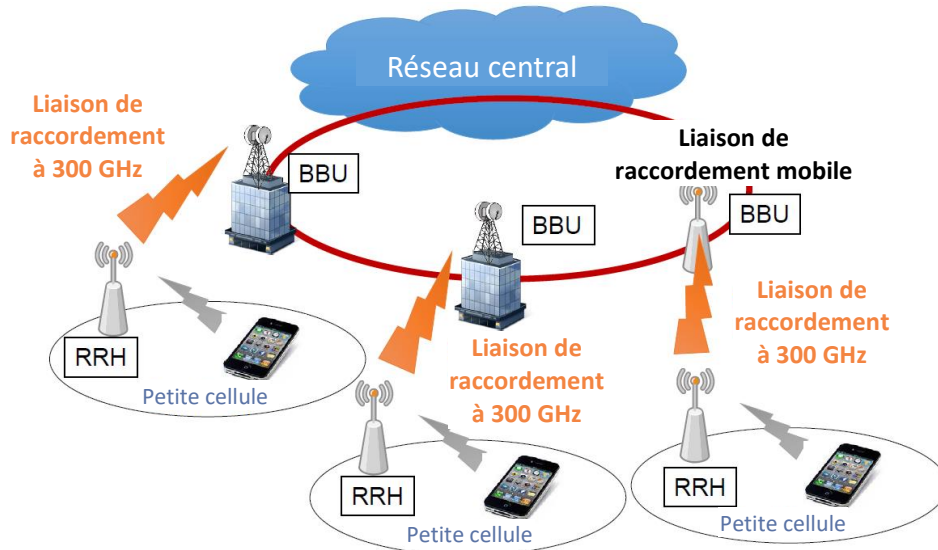
5.2 Caractéristiques des applications du service fixe fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz

5.2.1 Liaisons de raccordement point à point vers l'avant et vers l'arrière

La 2 présente l'architecture du réseau de certains systèmes mobiles. Cette architecture prend en charge des émissions à haut débit entre une station de base et un terminal mobile. La liaison de raccordement vers l'avant est la connexion entre l'unité de bande de base (BBU) de la station de base et la tête radio distante (RRH), tandis que la liaison de raccordement vers l'arrière est une connexion entre la station de base et les éléments de réseau de niveau supérieur. Selon la Recommandation UIT-R M.2083 et le Rapport UIT-R M.2376, les liaisons de raccordement vers l'avant et vers l'arrière vont jouer un rôle déterminant pour prendre en charge l'accroissement du débit de données du trafic mobile dans les années à venir. Pour répondre au besoin de débit de crête des terminaux mobiles d'une petite cellule, qui peuvent atteindre 10 à 20 Gbit/s, la capacité

d'émission des liaisons de raccordement vers l'avant et vers l'arrière doit parfois être très supérieure à plusieurs dizaines de Gbit/s.

FIGURE 2
Fonctionnement des liaisons de raccordement vers l'avant et vers l'arrière conçues pour le réseau d'un système mobile



La gamme de fréquences 275-450 GHz permet d'offrir un débit élevé en large bande mais à courte portée pour des systèmes hertziens prenant en charge des terminaux mobiles.

Les caractéristiques techniques et opérationnelles proposées pour les liaisons de raccordement point à point vers l'avant et vers l'arrière destinées aux systèmes fixes fonctionnant dans les bandes 275-325 GHz et 380-450 GHz sont indiquées dans le Tableau 7, sous réserve que l'analyse de partage montre que le service fixe peut coexister avec les services passifs. Le gabarit spectral d'émetteur et ses paramètres sont identiques à ceux qui ont été indiqués pour les applications CPMS dans la Fig. 1 et le Tableau 2.

TABLEAU 7

Caractéristiques techniques et opérationnelles prévues pour les applications du service fixe fonctionnant dans les bandes de fréquences 275-450 GHz et 380-450 GHz

Bande de fréquences (GHz)	275-325	380-445
Méthode duplex	DRT/DRF	DRT/DRF NOTE: D'autres méthodes de duplex sont possibles
Modulation	MDPB/ MDPQ/ MDP-8/MDAP-8/ MAQ-16/MAQ-32/ MAQ-64/ MDPB-MROF/ MDPQ-MROF / MAQ-16-MROF / MAQ-32-MROF / MAQ-64-MROF	MDPB/ MDPQ/ MDP-8/MDAP-8/ MAQ-16/MAQ-32/ MDP-8/MDAP-8/ MDPB-MROF/ MDPQ-MROF / MAQ-16-MROF / MAQ-32-MROF

TABLEAU 7 (fin)

Bande de fréquences (GHz)	275-325	380-445
Largeur de bande du canal (GHz)	2.....25 (DRF) 2.....50 (DRT)	2.....32,5 (DRF) 2.....65 (DRT)
Gabarit spectral	Voir § 5.1.1	Voir § 5.1.1
Plage de puissance en sortie à l'émetteur (dBm)	0....20	-10....10
Plage de densité de puissance en sortie à l'émetteur (dBm/GHz)	-17.....17	-28....7
Plage d'affaiblissement dans la ligne d'alimentation ou le multiplexeur (dB)	0 ... 3	0 ... 3
Plage du gain d'antenne (dBi)	24 ... 50	24 ... 50
Plage de la p.i.r.e. (dBm)	44.....70	37.....60
Plage de densité de la p.i.r.e. (dBm/GHz)	30.....67	19.....57
Diagramme d'antenne	Rec. UIT-R F.699 (source unique) Rec. UIT-R F.1245 (cumulatif)	Rec. UIT-R F.699 (source unique) Rec. UIT-R F.1245 (cumulatif)
Type d'antenne	Réflecteur parabolique	Réflecteur parabolique
Hauteur de l'antenne (m)	6-25	10-25
Élévation de l'antenne (degrés)	±20 (type)	±20 (type)
Facteur type de bruit dans le récepteur (dB)	15	15
Facteur type de densité de puissance du bruit dans le récepteur (dBm/GHz)	-69	-69
Niveau normalisé d'entrée du récepteur pour un TEB de 1×10^{-6} (dBm/GHz)	-61 ... -54	-61 ... -54
Longueur de la liaison (m)	100 ... 300	100 ... 300
Densité de déploiement	Voir plus bas	Voir plus bas
Critères de protection <i>I/N</i>	Rec. UIT-R F.758	Rec. UIT-R F.758

Estimation de la densité maximale des liaisons du service fixe

Selon la Recommandation UIT-R M.2101, les scénarios de déploiement des réseaux d'accès radioélectriques IMT sont classés selon quatre environnements des stations de base, à savoir les environnements rural, suburbain, urbain et en intérieur. Les scénarios classés dans les environnements suburbain et urbain sont en outre divisés en macrocellules et microcellules selon leur zone de couverture. Les zones de couverture de la microcellule sont comprises dans celles de la macrocellule.

Les applications du service fixe telles que les liaisons de raccordement vers l'avant et vers l'arrière sont conçues pour offrir une connexion de grande capacité entre la BBU et la RRH. L'emplacement de la BBU peut correspondre à la station de base d'une macrocellule et celui de la RRH à la station de base d'une microcellule, que ce soit dans une zone urbaine ou suburbaine. Toutefois, en raison de la distance entre les stations de base situées dans des zones suburbaines, on considère que les liaisons du service fixe fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz ne sont employées que dans un environnement urbain, tandis que d'autres liaisons seront raccordées dans d'autres bandes de fréquences déjà attribuées au service fixe.

On estime que la densité de stations de base dans les zones urbaines est de 30 stations par km² dans chacune des gammes de fréquences qui devraient être concernées par les IMT-2020 (à savoir 24,25-33,4 GHz, 37-43,5 GHz, 45,5-52,6 GHz et 66-86 GHz)². La liaison du service fixe dans la gamme 275-450 GHz servira aux connexions de très grande capacité et sera limitée aux zones urbaines denses. Bien que la proportion de zones urbaines denses par km² ne soit pas définie dans les publications de l'UIT-R, nous avons pris par hypothèse un taux de 7% du nombre de stations de base par km².

En partant de cette hypothèse, le nombre total de stations de base dans la zone métropolitaine de Tokyo est de 7% de 120 stations de base, multiplié par 619 km², soit 5 200 stations, comme indiqué dans le Tableau 8, pour l'ensemble de la bande 275-450 GHz. Les données concernant l'autre grande ville du Japon sont également indiquées dans le Tableau 8. Ce calcul montre que l'on peut s'attendre à une densité de 8,4 liaisons du service fixe par km² dans l'ensemble de la bande 275-450 GHz, soit une densité de 4,2 liaisons par km² dans chacune des deux bandes (275-325 GHz et 380-445 GHz) aux fins de l'évaluation de l'effet cumulé des émissions provenant des liaisons du service fixe.

Bien qu'elle ne soit fondée que sur certaines villes très peuplées du Japon, nous estimons que cette valeur de 4,2 liaisons du service fixe par km² est globalement représentative. Il existe cependant une autre manière d'évaluer la répartition des liaisons du service fixe, qui se fonde sur les densités de population auxquelles on applique le taux précité de 0,0007 liaison par habitant (pour l'ensemble de la gamme 275-450 GHz), ce qui donne une densité de 0,00035 liaison du service fixe par habitant dans chacune des deux bandes (275-325 GHz et 380-445 GHz).

TABLEAU 8

Calcul des liaisons du service fixe (SF) dans la gamme de fréquences 275-450 GHz pour certaines villes très peuplées du Japon

Ville	Surface (km ²)	Population (M)	Nombre de liaisons du SF	Liaisons du SF/km ² ⁽¹⁾	Liaisons du SF/habitant
District de Tokyo	619	9,37	5 200	8,4	0,0006
Yokohama	437,4	3,73	3 674	8,4	0,0010
Osaka	223	2,70	1 873	8,4	0,0007
Nagoya	326,4	2,30	2 742	8,4	0,0012
Total	1605,8	18,1	13 489	8,4	0,0007

⁽¹⁾ La densité de liaisons du service fixe est évaluée dans l'hypothèse où les quatre bandes d'ondes millimétriques considérées seront attribuées aux services des IMT-2020.

Angles d'élévation de l'antenne

Selon les estimations, les hauteurs d'antenne des stations de base situées dans la zone urbaine sont comprises entre 6 et 25 m. Les angles d'élévation des antennes sont calculés à partir de la hauteur d'antenne des stations du service fixe et de la distance entre les liaisons de ce service. Bien que la distance entre les stations de base situées dans les zones urbaines denses soit en principe de 200 m, nous avons pris pour hypothèse une plage de distances entre 100 et 300 m pour effectuer nos calculs d'angles d'élévation.

² Voir le Document 5-1/36, «Caractéristiques des systèmes IMT de Terre utilisées pour le partage des fréquences et les évaluations des brouillages dans la gamme de fréquences allant de 24,25 GHz à 86 GHz».

Dans la zone métropolitaine de Tokyo, nous avons considéré que l'angle d'élévation était inférieur à ± 12 degrés compte tenu des paramètres ci-dessus ainsi que de la déviation à la surface de la zone de Tokyo.

Si nous prenons en compte les différentes zones urbaines de l'ensemble de la planète, nous pouvons considérer que l'élévation type est de ± 20 degrés.

Disposition des canaux et besoins de fréquences

S'agissant des besoins de fréquences du système IMT dans la gamme entre 24,5 GHz et 86 GHz, une étude a montré que ces besoins étaient de 18,7 GHz, tandis que selon une autre étude, les besoins atteignaient 27,4 GHz en tenant compte d'un système de points d'accès public en intérieur³.

Au regard de ces études, une largeur de bande de 24,5 GHz est suffisante pour assurer une liaison de raccordement vers l'avant et vers l'arrière de grande capacité pour le système IMT. Si les besoins restent semblables, cette largeur de bande d'environ 25 GHz pourra suffire dans les premiers scénarios de déploiement.

Dès lors, sur le long terme, une largeur de bande totale d'environ 50 GHz devrait être suffisante pour prendre en charge l'évolution du trafic du système IMT entre les BBU et les RRH. Les bandes de fréquences qui pourraient être de bonnes candidates pour les applications des liaisons de raccordement vers l'avant et vers l'arrière sont les bandes 275-325 GHz et 380-445 GHz. L'utilisation de la bande de fréquences 330-370 GHz pourrait aussi être envisagée à l'avenir, si ou lorsque les paramètres de cette bande seront connus.

5.3 Caractéristiques des systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande de fréquences 275-450 GHz

Les Tableaux 9 et 10 indiquent les seuils de brouillage pour le service de radioastronomie; ces seuils sont analogues à ceux de la Recommandation UIT-R RA.769, mais ils concernent des bandes de fréquences présentant un intérêt pour le présent Rapport. Les données concernant les fréquences juste en-dessous et au-dessus de la gamme 275-450 GHz sont fournies à des fins d'interpolation. Le Tableau 11 indique les emplacements des onze stations de radioastronomie ayant actuellement des activités dans la bande 275-450 GHz et mentionne en outre un site envisagé pour mener ces activités. L'altitude moyenne de ces sites est de 3 500 m, mais la plupart sont au-dessus de 4 000 m. Leur topologie locale et d'autres informations à leur sujet peuvent être consultées sur la carte mondiale des radiotélescopes et des zones de silence radioélectrique établie par le Comité inter-unions pour l'attribution de fréquences à la radioastronomie et à la science spatiale (IUCAF), qui est disponible à l'adresse suivante: <http://tinyurl.com/yrvszk>

³ Voir le Document 5-1/36 «Liaison statement to Task Group 5/1 – Spectrum needs for the terrestrial component of IMT in the frequency range between 24.5 GHz and 86 GHz».

TABLEAU 9

Seuil des brouillages préjudiciables à l'observation du continuum par la radioastronomie

Fréquence centrale ⁽¹⁾ f_c (MHz)	Largeur de bande présumée Δf (MHz)	Température de bruit minimale de l'antenne T_A (K)	Température de bruit du récepteur T_R (K)	Sensibilité du système (fluctuations du bruit)		Seuils de brouillage		
				Température ΔT (mK)	Densité spectrale de puissance, ΔP (dB(W/Hz))	Puissance à l'entrée ΔP_H (dBW)	Puissance surfacique $S_H \Delta f$ (dB(W/m ²))	Densité spectrale de puissance surfacique S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
265 000	8 000	20	75	0,024	-274,8	-185,8	-115,9	-214,9
345 000	8 000	30	100	0,032	-273,5	-184,5	-112,2	-211,3
405 000	8 000	60	215	0,069	-270,2	-181,2	-107,6	-206,6
432 000	8 000	73	275	0,087	-269,2	-180,2	-106,0	-205,0
500 000	8 000	110	385	0,124	-267,7	-178,6	-103,2	-202,2

TABLEAU 10

Seuil des brouillages préjudiciables à l'observation des raies spectrales par la radioastronomie

Fréquence f (MHz)	Largeur de bande présumée de la raie spectrale Δf (kHz)	Température de bruit minimale de l'antenne T_A (K)	Température de bruit du récepteur T_R (K)	Sensibilité du système (fluctuations du bruit)		Seuils de brouillage		
				Température ΔT (mK)	Densité spectrale de puissance, ΔP (dB(W/Hz))	Puissance à l'entrée ΔP_H (dBW)	Puissance surfacique $S_H \Delta f$ (dB(W/m ²))	Densité spectrale de puissance surfacique S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
265 000	1 000	20	75	2,12	-255,3	-205,3	-135,4	-195,4
345 000	1 000	30	100	2,91	-254,0	-204,0	-131,8	-191,8
405 000	1 000	60	215	6,15	-250,7	-200,7	-127,1	-187,1
432 000	1 000	73	275	7,78	-249,7	-199,7	-125,5	-185,5
500 000	1 000	110	385	11,07	-248,2	-198,2	-122,7	-182,7

TABLEAU 11

Sites de radioastronomie fonctionnant dans la gamme 275-450 GHz

Région 1 de l'UIT-R

Nom, emplacement et administration de l'observatoire	Longitude (E), latitude (N), altitude (m, au-dessus du niveau moyen de la mer)	Élévation minimum (degrés)	Hauteur de l'antenne de réception (par rapport au sol) (m)	Caractéristiques géographiques
Antenne-réseau IRAM-NOEMA 12×15 m, Plateau de Bure, France	5,9079173°, 44,633889° (2553)	0	15	Plateau de montagne isolé, visibilité partielle d'installations publiques
IRAM-30 m, Pico de Veleta, Espagne	-3,392778°, 37,06611° (2850)	0	31	Versant de montagne, au-dessus d'une station de ski proche et de la ville de Grenade

Région 2 de l'UIT-R

Nom, emplacement et administration de l'observatoire	Longitude (E), latitude (N), altitude (m, au-dessus du niveau moyen de la mer)	Élévation minimum (degrés)	Hauteur de l'antenne de réception (par rapport au sol) (m)	Caractéristiques géographiques
LMT 50 m Sierra Negra, Puebla, Mexique	-97,313333°, 18,985000° (4660)	7	51	Sommet de montagne, visibilité directe de plusieurs villes, à 15 km de l'autoroute Mexico-Puebla-Veracruz
APEX 12 m – <i>Atacama Pathfinder Experiment</i> , Chajnantor, Chili	-67,75888°, -23,00583° (4850)	0	13	Vallée large et plate entourée de montagnes, accessible par la route
ASTE 12 m – <i>Atacama Submillimeter Telescope Experiment</i> , Chajnantor, Chili	-67,7033°, -22,97158° (4775)	0	13	Vallée large et plate entourée de montagnes, accessible par la route
ALMA, 54×12 m+12×7 m Chajnantor, Chili	-67,754928°, -23,022911° (4800)	0	13	Vallée large et plate entourée de montagnes, accessible par la route, cercle de 35 km de diamètre autour des coordonnées indiquées

TABLEAU 11 (fin)

Nom, emplacement et administration de l'observatoire	Longitude (E), latitude (N), altitude (m, au-dessus du niveau moyen de la mer)	Élévation minimum (degrés)	Hauteur de l'antenne de réception (par rapport au sol) (m)	Caractéristiques géographiques
NANTEN2 4 m, Pampa La Bola, Chili	-67,702222° -22,296306° (4750)	0	7	Vallée large et plate entourée de montagnes, accessible par la route
ARO SMT 10 m, Mt. Graham, Arizona, États-Unis d'Amérique	-109,89201° 32,701303° (3200)	7	11	Sommet d'une montagne boisée, site isolé
JCMT 15 m, SMA 6×6 m & CSO 12 m; Mauna Kea, Hawaï, États-Unis d'Amérique	-155,47500° 19,821667° (4300)	6	17	Sommet très élevé d'une montagne, site isolé
Télescope de 10 m au pôle Sud, station de recherche NSF du pôle Sud -90° (2820)	0	8	À l'emplacement précis du pôle Sud
Antenne-réseau Simons et observatoire Simons, Chili	-67,7875°, -22,95861° (5200)	0	6	Vallée large et plate entourée de montagnes, accessible par la route

Région 3 de l'UIT-R

Nom, emplacement et administration de l'observatoire	Longitude (E), latitude (N), altitude (m, au-dessus du niveau moyen de la mer)	Élévation minimum (degrés)	Hauteur de l'antenne de réception (par rapport au sol) (m)	Caractéristiques géographiques
CCOSMA, 3m, Yangbajing, Tibet, Chine	90,5258°, 30,1033° (4319)	0	4	Vallée large et plate entourée de montagnes, accessible par la route
HEAT, 5m, Dome A, pôle Sud, Chine (proposition)	70,116111°, -80,416944° (4087)	0	6	Sommet de montagne au-dessus d'une vallée large et plate, site isolé

FIGURE 3

Température et transmission atmosphérique du système Zenith à l'observatoire ALMA

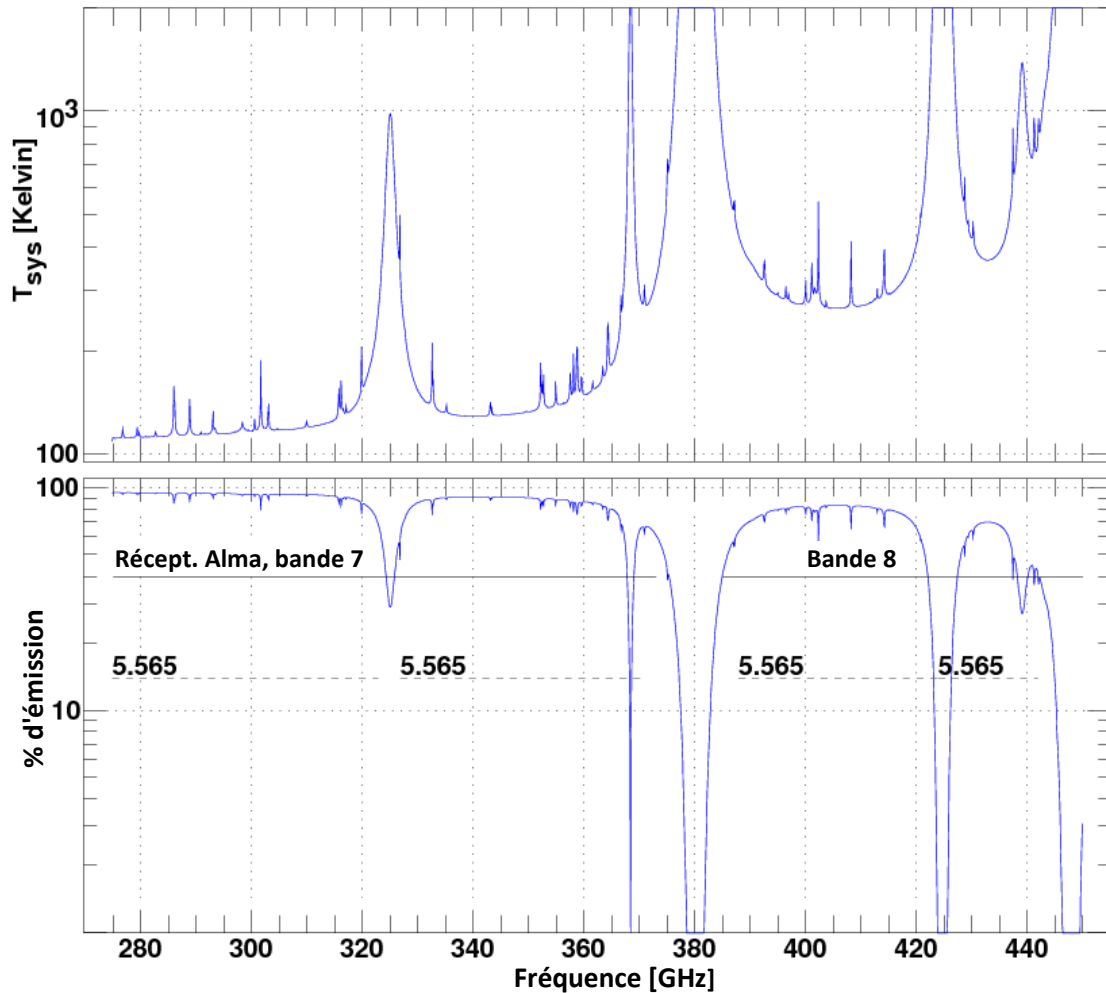


Diagramme du haut: variation de la température du système à l'observatoire ALMA en fonction de la fréquence, compte tenu des effets du ciel, de l'atmosphère et du récepteur. La température du système indiquée ici est la somme de des valeurs T_A et T_R indiquées aux Tableaux 1 et 2 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769. Elle est égale à la valeur T de l'équation (3) de la Recommandation UIT-R RA.769 (soit $T = T_A + T_R = T_{\text{sys}}$).

Diagramme du bas: transmission atmosphérique en fonction de la fréquence. Les gammes de réglage (bandes 7 et 8) du récepteur Alma sont illustrées, ainsi que les gammes de fréquences indiquées au numéro 5.565 du RR.

5.4 Caractéristiques des systèmes du service d'exploration de la Terre par satellite (passive) fonctionnant dans la bande de fréquences 275-450 GHz

Entre 275 et 450 GHz, un certain nombre de bandes présentant un intérêt pour les études scientifiques de météorologie, de climatologie et de chimie de l'atmosphère ont été identifiées; elles sont énumérées dans l'Annexe 1 du présent Rapport. En matière de météorologie et de climatologie, la détection des paramètres physiques requis dépend surtout de la teneur en vapeur d'eau et des raies de résonance de l'oxygène, ainsi que des fenêtres de fréquences connexes. En revanche, en chimie de l'atmosphère, les systèmes de détection mesurent les nombreuses raies spectrales des composés chimiques de l'air, qui sont plus petites. Dans certains cas, une même molécule est observée dans

plusieurs bandes de fréquences différentes, par exemple du fait que ces différentes bandes sont sensibles à cette molécule particulière à différentes altitudes.

La Recommandation UIT-R RS.2017 indique les niveaux de brouillage admissibles pour les systèmes de télédétection passive du service d'exploration de la Terre par satellite (SETS). Le Tableau 12 contient un extrait de cette Recommandation concernant la gamme de fréquences 275-450 GHz. Il convient de noter que ces critères de protection correspondent au cumul de plusieurs niveaux maximaux de brouillages, et qu'ils ont été répartis entre l'ensemble de ces différentes sources dans la bande considérée et dans la bande adjacente. Selon le point 1.15 de l'ordre du jour de la CMR-19, ces critères devront, le cas échéant, être répartis entre le service fixe, le service mobile et éventuellement les émissions non souhaitées de ces deux services.

TABLEAU 12

Extrait de la Recommandation UIT-R RS.2017 indiquant les critères de brouillage pour la télédétection passive par satellite dans la gamme de fréquences 275-450 GHz

Bande(s) de fréquences (GHz)	Largeur de bande de référence (MHz)	Niveau maximal de brouillage (dBW)	Pourcentage de la zone ou du temps pour lequel le niveau de brouillage admissible peut être dépassé ⁽¹⁾ (%)	Mode de balayage (N, C, L) ⁽²⁾
275-285,4	3	-194	1	L
296-306	200/3 ⁽³⁾	-160/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
313,5-355,6	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L
361,2-365	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
369,2-391,2	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
397,2-399,2	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
409-411	3	-194	1	L
416-433,46	200/3 ⁽³⁾	-157/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
439,1-466,3	200/3 ⁽³⁾	-157/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L

⁽¹⁾ Pour un niveau de 0,01%, la zone de mesure est un carré de 2 000 000 km² à la surface de la Terre, sauf spécification contraire justifiée; pour un niveau de 0,1%, la zone de mesure est un carré de 10 000 000 km² à la surface de la Terre, sauf spécification contraire justifiée; pour un niveau de 1%, le temps de mesure est de 24 h, sauf spécification contraire justifiée.

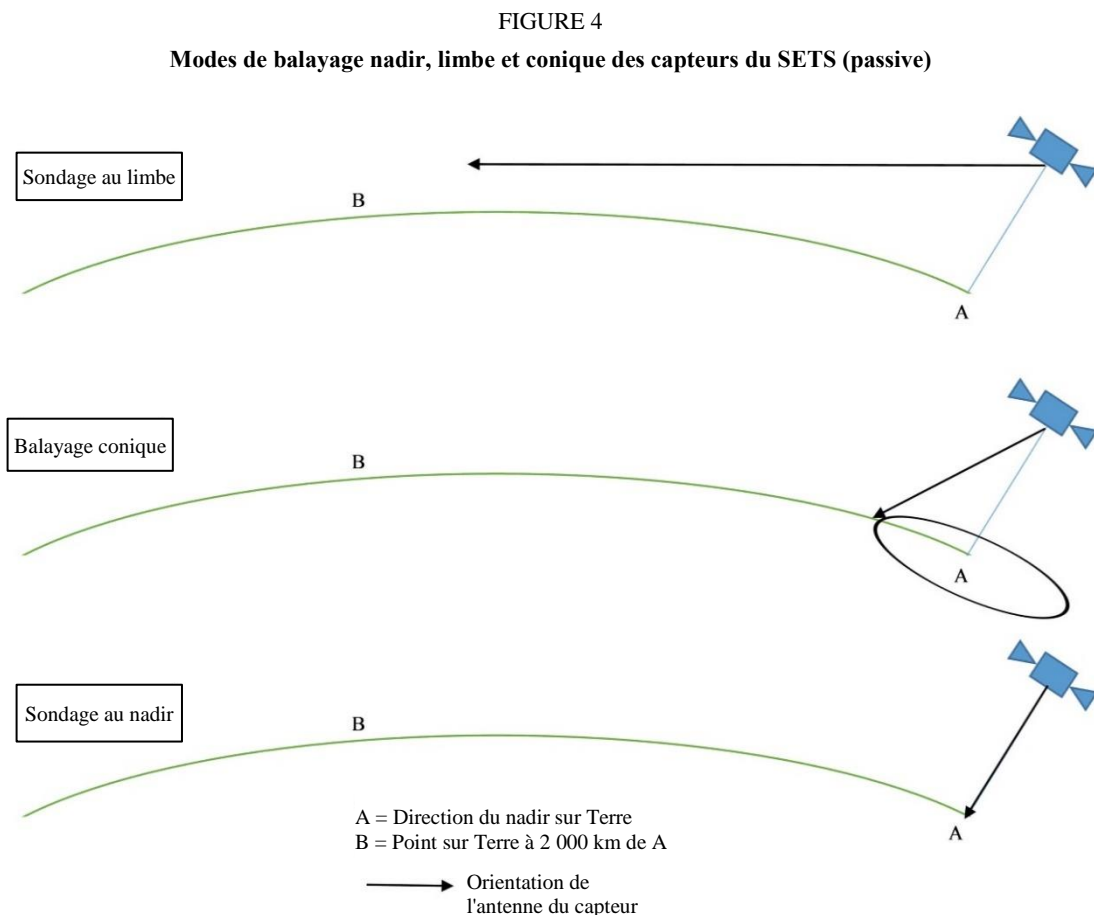
⁽²⁾ N: Nadir. L: Limbe, C: Conique.

⁽³⁾ Première valeur pour les modes «nadir» ou «conique» et deuxième valeur pour les applications de sondage hyperfréquences de type «limbe».

S'agissant des différents types de détecteurs du SETS (passive) à prendre en compte dans ces études, ils sont définis de la manière suivante:

- *N* – Nadir: les modes de balayage «nadir» consistent essentiellement à sonder ou à observer la surface de la Terre à des angles d'incidence quasiment perpendiculaires. Le balayage se termine à la surface de la Terre ou à divers niveaux dans l'atmosphère selon les fonctions de pondération employées pour évaluer un paramètre particulier de l'atmosphère.
- *L* – Limbe: les modes de balayage «limbe» consistent à observer l'atmosphère «au bord», le balayage se terminant dans l'espace et non à la surface de la Terre. La pondération est donc nulle à la surface et maximale à la hauteur du point de tangence.
- *C* – Conique: les modes de balayage «conique» consistent à observer la surface de la Terre en faisant tourner l'antenne à un angle décalé par rapport à la direction du nadir.

La Fig. 4 illustre trois types de capteurs. Il convient de noter à cet égard que les capteurs à balayage du nadir comprennent toutes les mises en œuvre de capteurs ayant au moins une composante destinée à l'observation du nadir, comme par exemple les capteurs transversaux et les capteurs en peigne.



On trouvera dans le Tableau 13 un résumé bande par bande des systèmes du SETS (passive) qui devra être pris en compte dans les études de partage concernant la gamme de fréquences 275-450 GHz. Les paramètres nécessaires pour mener ces études sont résumés dans le Tableau 14. Les caractéristiques détaillées de ces systèmes du SETS (passive) sont publiées dans le Rapport UIT-R RS.2431.

TABLEAU 13
Systèmes de télédétection passive par satellite destinés
aux bandes de fréquences 275-450 GHz⁴

Bande(s) de fréquences (GHz)		Mode de balayage	
		Nadir, conique	Limbe
275-285,4	<i>L</i>	-----	Employer des caractéristiques semblables à celles du satellite STEAMR (Note 1)
296-306	<i>N, L</i>	Employer des caractéristiques semblables à celles du satellite STEAMR (Note 1)	MASTER (Orbite terrestre basse (LEO) , § 6.9)
313,5-355,6	<i>N, C, L</i>	ICI (Orbite LEO, § 6.1) SSM (Orbite LEO, § 6.3) GEM (Orbite géostationnaire (GEO), § 6.5)	STEAMR (Orbite LEO, § 6.4) CAMLS (Orbite LEO, § 6.7) MASTER (Orbite LEO, § 6.9)
361,2-365	<i>N, L</i>	Employer des caractéristiques semblables à celles du satellite ICI (Note 1)	Employer des caractéristiques semblables à celles du satellite STEAMR (Note 1)
369,2-391,2	<i>N, L</i>	TWICE (Orbite LEO, § 6.2) GEM (Orbite GEO, § 6.5) GOMAS (Orbite GEO, § 6.6)	
397,2-399,2	<i>N, L</i>	Employer des caractéristiques semblables à celles du satellite ICI (Note 1)	
409-411	<i>L</i>	-----	
416-433,46	<i>N, L</i>	GOMAS (Orbite GEO, § 6.6)	
439,1-466,3	<i>N, C, L</i>	ICI (Orbite LEO, § 6.1)	

NOTE 1 – Les paramètres des systèmes actuellement ou prochainement en service ne sont pas disponibles pour certaines bandes. Il convient alors d'utiliser les caractéristiques de systèmes employant le même mode de balayage dans d'autres bandes.

⁴ Les renvois à des sections dans ce tableau correspondent aux sections du Rapport UIT-R RS.2431.

TABLEAU 14

**Résumé des caractéristiques techniques des systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz
(voir le Rapport UIT-R RS.2431)**

Instrument	ICI	TWICE	SMM	STEAMR	GOMAS	GEM	CAMLS	MASTER	GMS
Type d'orbite	SSO LEO	SSO LEO	SSO LEO	SSO LEO	GSO	GSO	LEO	SSO LEO	GSO
Altitude (km)	817	400	Non disponible	817	35 684	35 684	Non disponible	817	35 684
Inclinaison (degrés)	98.7	Forte inclinaison	Forte inclinaison	98,7	0	0	Non disponible	98,7	0
Mode de balayage	Conique (Fig. 10)	Conique (Fig. 11)	Conique ou transversal (Fig. 13)	Limbe (Fig. 15)	Conique (Fig. 17)	Conique	Limbe	Limbe	Balayage cumulant une bande large et un cercle fin (Fig. 9)
Angle d'observation au zénith (degrés) pour le balayage conique, ou altitude min. de pointage (km) pour le balayage de limbe	Conique: 53 ± 2	Conique: 53	Non disponible	Limbe: 6	Non disponible	Non disponible	Limbe: 10	Limbe: 3	Sans objet
Fréquence centrale RF (GHz)	325,15 448	310 380,2	325	319,5 349,6	380,197 424,763	380,197 425,763	340	299,75 320,0 345,6	338 380,197 424,763
Largeur de bande RF (GHz)	3,2-6 2,4-6 (Tableau 4)	10 7,2	Non disponible	12 12	0,3-4 0,06-1 (Tableau 12)	0,05-18 (LSB)	16	11,5 9,0 6,5	0,03-8 0,01-1
Type d'antenne	Réflecteur décalé, alimentation multiple	Cornets large bande à plusieurs projecteurs	Non disponible	Antenne à réflecteur	Balayage à ouverture obstruée	Balayage à ouverture obstruée	Non disponible	Réflecteur décalé elliptique	Antenne à réflecteur
Gain de crête de l'antenne (dBi)	55	46-48 (TBC)	Non disponible	70	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Non disponible	76
Diamètre de l'antenne (m)	~ 0,5	Non disponible	Non disponible	Non disponible	3	2	Non disponible	1 × 2	3
Ouverture du faisceau de l'antenne (degrés)	Non disponible	0,64° 0,56°	Non disponible	Voir Fig. 15	0,019° 0,017°	0,029° 0,026°	Non disponible	Non disponible	0,027°
Champ de vision (km) Aire de l'empreinte (km ²)	16 Aire ≈ 200 km ² (Tableau 3)	FOV: 6,5 × 9,9 Aire ≈ 50 km ² FOV: 5,8 × 8,7 Aire ≈ 40 km ² (Fig. 6.2-2)	Non disponible	Sans objet (Voir Fig. 15)	IFOV: 12 Aire ≈ 110 km ² IFOV: 10 Aire ≈ 75 km ²	FOV: 20,5 Aire ≈ 330 km ² FOV: 16,4 Aire ≈ 210 km ²	Sans objet (Voir Tableau 13)	Sans objet (Voir Tableau 17)	IFOV: 16

Il convient de noter que les équations de référence concernant les diagrammes d'antenne du SETS (passive) qui figurent dans la Recommandation UIT-R RS.1813 ne concernent actuellement que la gamme 1,4 à 100 GHz. Néanmoins, il est recommandé au groupe de travail de l'UIT-R spécialiste de cette question d'employer aussi ces équations dans ses études visant la gamme de fréquences 275-450 GHz.

6 Considérations sur les études de partage et de compatibilité

6.1 SRA

Le brouillage que l'emploi de la bande 275-450 GHz par d'autres services actifs pourrait causer au service de radioastronomie diffère du brouillage causé dans d'autres cas en raison des propriétés particulières de l'absorption atmosphérique (voir Figs. 3, 4 et A5-1), et du fait de l'emplacement géographique des stations de radioastronomie exploitant cette bande (Tableau 11). Ces stations sont généralement situées à des altitudes de 3 à 5 km dans des zones arides afin de réduire au minimum l'absorption due aux précipitations et à l'atmosphère autour et au-dessus de l'antenne de radioastronomie.

Dans la bande de fréquences 275-450 GHz, les antennes de services actifs de taille modeste peuvent utiliser des faisceaux étroits qui ne seraient pas exploitables dans des bandes plus basses. Si les antennes des applications du service fixe devraient en principe présenter des faisceaux étroits et de faibles angles d'élévation, il pourrait être néanmoins nécessaire de choisir des antennes plus adéquates et de planifier minutieusement la direction des liaisons pour éviter tout brouillage préjudiciable à la radioastronomie.

Au-dessus de 275 GHz, la propagation à travers l'atmosphère de la Terre est fortement influencée par les caractéristiques d'absorption des molécules présentes dans l'air, et en particulier de l'oxygène et de la vapeur d'eau. Si l'affaiblissement dû à l'atmosphère peut offrir une protection supplémentaire au fonctionnement du SRA à certaines fréquences en raison de la forte variation des molécules présentes dans l'atmosphère selon l'altitude, on trouve à de plus hautes altitudes des «fenêtres» d'émission où l'affaiblissement est proche de celui de l'espace libre.

Selon les conclusions du rapport UIT-R RA.2189-1, aux puissances d'émission considérées dans ledit rapport, le partage entre le service de radioastronomie et les services actifs dans la gamme 275-3 000 GHz est possible si l'on tient compte des caractéristiques atmosphériques en fonction de l'altitude au-dessus du niveau de la mer ainsi que de la directivité de l'antenne de l'émetteur. On peut éviter les brouillages préjudiciables aux installations de radioastronomie en définissant des zones d'exclusion géographique autour de ces installations. En effet, tout éclairage direct des observatoires du SRA, surtout à des altitudes comparables ou supérieures à celles de ces observatoires, pourrait causer des brouillages aux systèmes du SRA.

Outre les zones d'exclusion, deux stratégies simples peuvent être mises en œuvre pour protéger le SRA des émissions du SF dans ces bandes. La première consiste à employer des puissances moins élevées et des antennes à faisceau étroit, et la seconde à éviter de pointer les antennes vers des installations du SRA. Si ces stratégies sont relativement faciles à mettre en œuvre dans la plupart des applications point-à-point du SF, elles ne sont pas applicables à d'autres services terrestres comme le service mobile.

FIGURE 5

Affaiblissement dû à l'atmosphère calculé sur des trajets horizontaux de 1 km à cinq altitudes différentes au-dessus du niveau de la mer, moyenne annuelle et 10ème centile des conditions d'observation aux observatoires de radioastronomie ALMA et LMT/GTM, compte tenu des propriétés de l'atmosphère indiquées dans le Tableau 1 du Rapport RA.2189-1

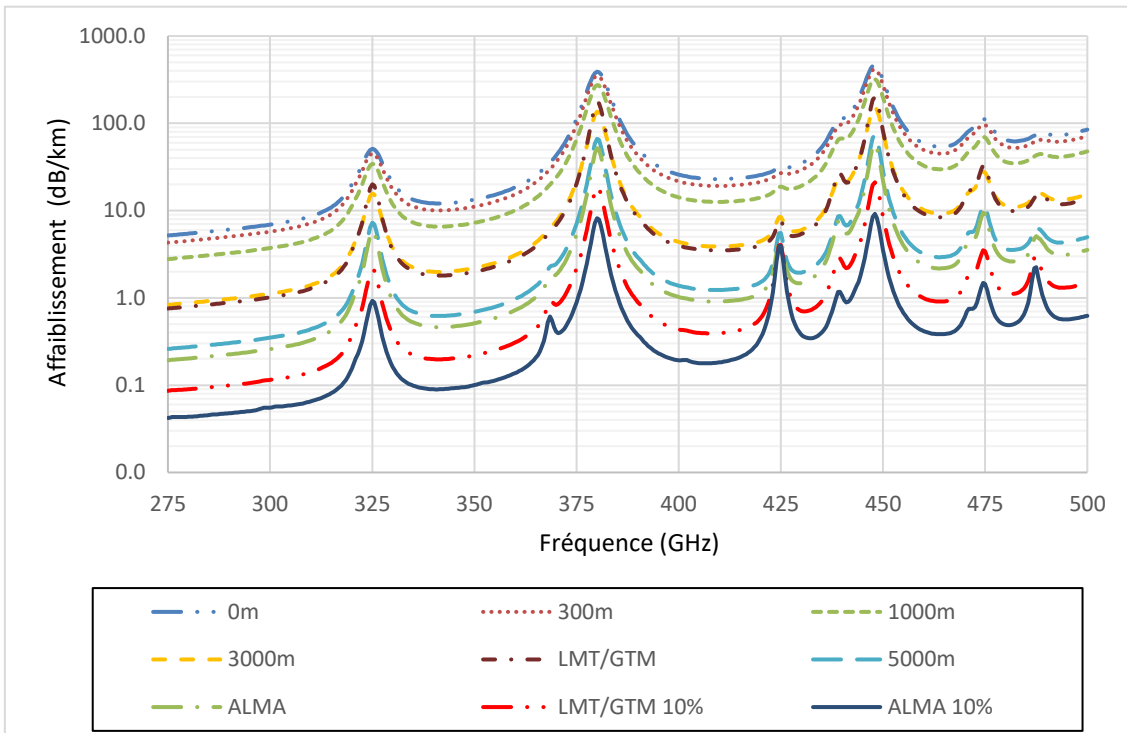
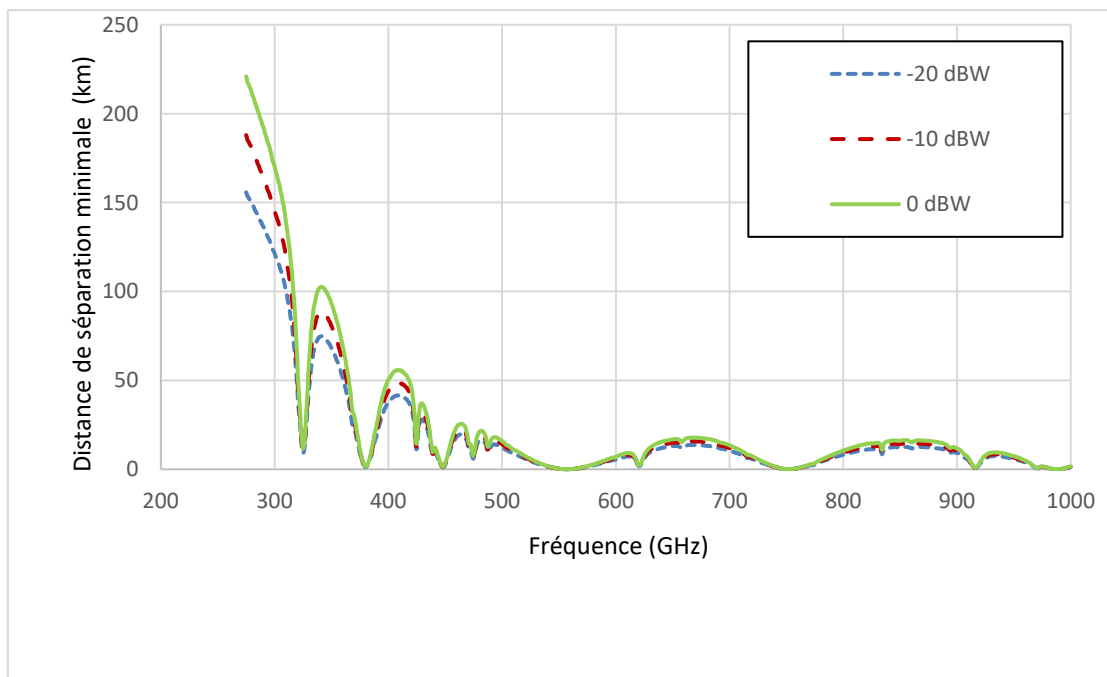


FIGURE 6

Distance horizontale à 5 000 m au-dessus du niveau de la mer au-delà de laquelle un signal émis à des fréquences entre 275 et 1 000 GHz ne dépasserait pas les seuils de brouillage définis pour la radioastronomie dans le Rapport UIT-R RA.2189-1. Cette Figure met en évidence la nécessité de combiner les zones d'exclusion géographique et la stratégie consistant à ne pas éclairer directement les observatoires pour protéger les activités du SRA



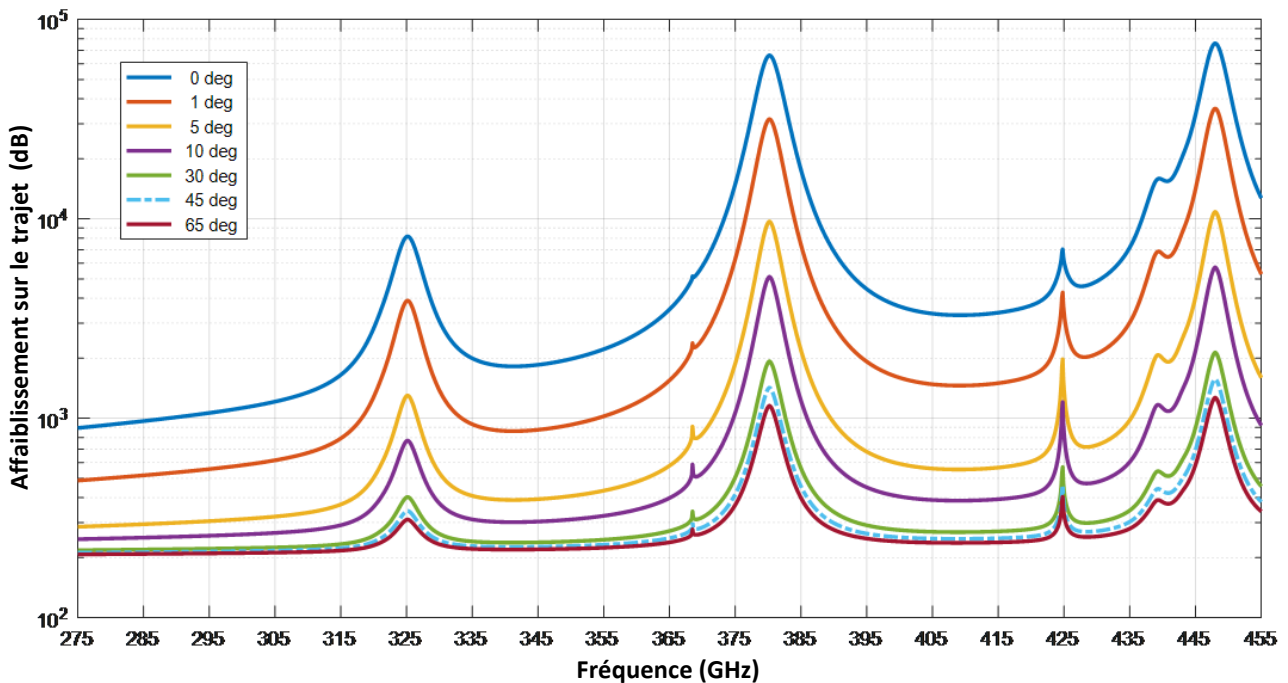
6.2 SETS (passive)

Il est difficile de calculer l'affaiblissement total sur le trajet d'une liaison du service fixe à un faible angle d'élévation vers un satellite en orbite non géostationnaire (non OSG) du SETS apparaissant au-dessus de l'horizon à l'azimut de cette liaison. Il faut en effet tenir compte du changement de réfraction sur le trajet du signal à mesure que l'altitude au-dessus de la Terre augmente, et des variations de l'affaiblissement dues à la pression atmosphérique, à la température et à la vapeur d'eau. Le § 2.2 de l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-T P.676-11 contient un algorithme permettant de faire ces calculs. Toutefois, ceux-ci ne tiennent pas compte des obstructions naturelles ou dues aux bâtiments, qui peuvent permettre parfois de réduire ou d'éliminer le brouillage causé aux capteurs du SETS (passive). Les simulations dynamiques des brouillages causés par le service fixe et le service mobile terrestre aux capteurs du SETS (passive) doivent donc prendre en compte la probabilité d'obstructions naturelles et dues aux bâtiments, qui sont susceptibles de réduire les brouillages. De même, toute estimation des brouillages cumulatifs provenant de systèmes du SF doit tenir compte du blocage d'une partie des sources.

Les Figs. 7 et 8 montrent l'affaiblissement moyen sur le trajet provenant d'un émetteur du SF de Terre à différents angles d'élévation en direction d'un satellite en orbite à une altitude de 817 km⁵.

FIGURE 7

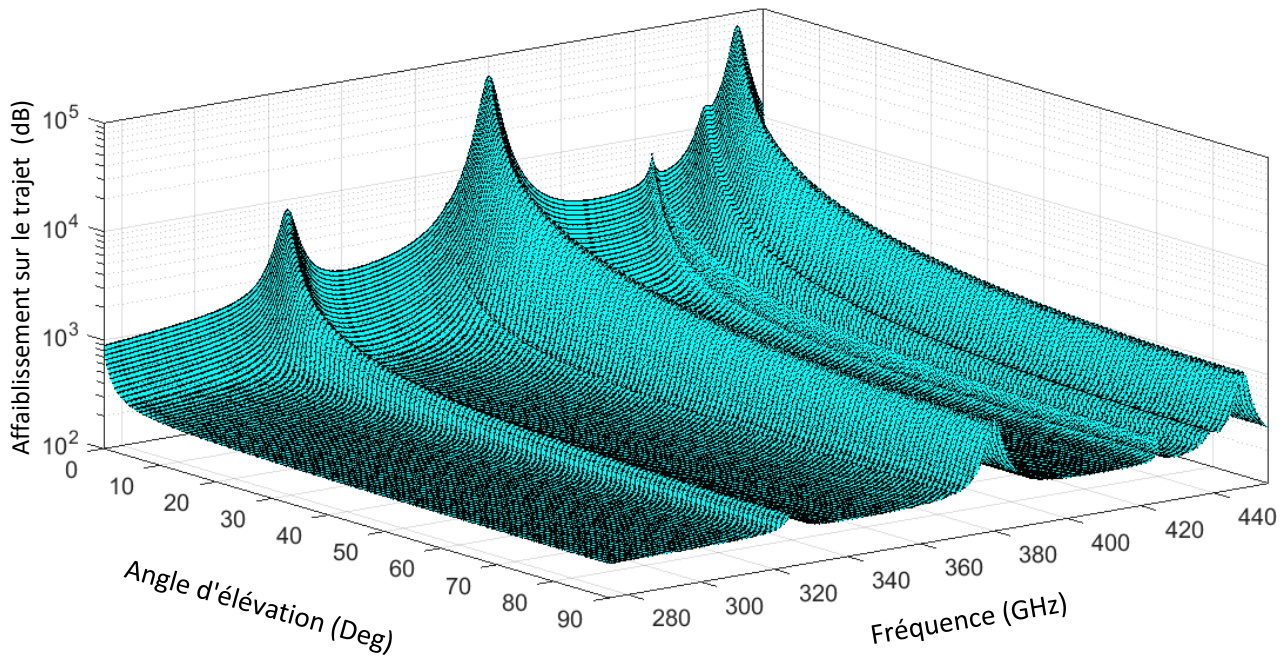
Affaiblissement moyen sur le trajet entre un point sur la Terre et un satellite (H= 817 km)
en fonction de l'angle d'élévation



⁵ L'altitude de 817 km est courante dans les orbites non géostationnaires employées par le SETS. Les résultats varient légèrement à d'autres altitudes.

FIGURE 8

Représentation en 3D de la Fig. 7



Les Figs. 7 et 8 sont fondées sur la somme de deux types d'affaiblissement «permanents» (c'est-à-dire toujours présents):

- les affaiblissements moyens dus aux gaz présents dans l'atmosphère; et
- les affaiblissements dus à la dispersion géométrique de l'énergie (affaiblissement sur le trajet en espace libre).

Les affaiblissements dus aux gaz présents dans l'atmosphère ont été calculés à la fois selon la méthode par sommation des contributions des raies d'absorption présentée dans l'Annexe 1 et le § 2.2 de la Recommandation UIT-R P.676-11, et selon la méthode de l'atmosphère de référence annuelle pour le monde entier définie dans la Recommandation UIT-R P.835. Selon cette atmosphère de référence, la pression de l'air sec est de 1013,25 hPa, la température de 288,15 K et la densité de vapeur d'eau de 7,5 g/m³ à la surface de la Terre.

Les affaiblissements dus à la dispersion géométrique de l'énergie (affaiblissement sur le trajet en espace libre) L_{sp} en dB sont calculés au regard de la fréquence f (GHz) et de la distance de propagation d (km) de la manière suivante:

$$L_{sp} = 92,45 + 20\log(f \cdot d) \quad (1)$$

Pour un satellite se trouvant à une altitude H et pour un angle d'élévation φ , on peut obtenir la distance de propagation d à partir de l'équation (2):

$$d = \sqrt{(a \sin \varphi)^2 + 2aH + H^2} - a \sin \varphi \quad (2)$$

où a est le rayon terrestre équivalent, qui est égal à 6 371 km.

Outre les affaiblissements précités, d'autres affaiblissements peuvent être dus à la diffusion ou l'absorption par les précipitations.

Le fait d'employer uniquement des liaisons du SF à de faibles angles d'élévation peut être une technique efficace pour atténuer les brouillages causés aux capteurs du SETS. Cependant, pour pouvoir être réellement efficace, toute limitation des angles d'élévation des stations du SF doit découler d'une réglementation obligatoire. La situation se complique encore davantage du fait que les capteurs du SETS sont de types très variés, et que chaque type a ses propres caractéristiques de faisceau en direction de la Terre. Dans certains cas, ces capteurs sont orientés vers l'avant; il peut alors être possible d'aligner le faisceau principal (même pour des liaisons fixes à angle faible) et les capteurs du SETS, bien qu'un décalage puisse se produire en raison de l'affaiblissement dû à la haute atmosphère. Ces scénarios de brouillages possibles et leurs effets doivent être vérifiés dans le cadre d'études de partage et de compatibilité.

Dans les applications du SF et du service mobile terrestre, pour lesquelles il n'est pas possible d'émettre à un faible angle d'élévation, il convient d'employer d'autres stratégies de protection pour assurer la compatibilité avec les services passifs identifiés au numéro **5.565** du RR. On peut par exemple choisir avec soin des bandes pour les applications des services actifs en vérifiant qu'elles n'ont pas été identifiées pour le SETS (passive). Un grand nombre de bandes identifiées pour le SETS (passive) au numéro **5.565** du RR ne disposent que d'une faible largeur de bande entre les bandes identifiées. Ainsi, les bandes 286-296 GHz et 399-409 GHz, qui se trouvent entre des bandes identifiées pour une exploitation par le SETS (passive), ont une largeur de 10 GHz. Elles peuvent donc être pratiques pour exploiter activement des types de systèmes pour lesquels il est impossible d'utiliser des antennes ayant des faisceaux étroits et un angle d'élévation faible. En théorie, on pourrait concevoir des antennes à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) capables de prendre en charge le bilan de liaison de l'usage prévu tout en limitant les émissions à des angles d'élévation importants. Toutefois, cette technologie n'existe pas encore et ne peut donc être exploitée pour gérer l'accès au spectre.

Il existe une autre méthode permettant de protéger les capteurs des satellites non OSG du SETS (passive) dont le faisceau principal est susceptible de souffrir d'un couplage avec le faisceau principal de services terrestres actifs lorsqu'il se trouve à un angle d'élévation important. Cette méthode ressemble aux techniques employées pour gérer le partage OSG/non OSG des satellites du SFS. Elle consiste à prévoir les situations d'alignement susceptibles de compromettre le fonctionnement d'un satellite non OSG du SETS et à modifier les paramètres du système terrestre pendant la période au cours de laquelle des brouillages peuvent survenir. Toutefois, cette méthode place tous les risques d'échec sur le SETS (passive), et elle nécessiterait l'emploi d'une base de données mondiale dont les caractéristiques n'ont pas encore été définies. Au demeurant, elle n'a pas encore été mise en œuvre avec succès pour d'autres paires de services, d'autres échelles géographiques ou d'autres gammes de fréquences.

Il existe enfin un dernier élément à prendre en compte dans les études de compatibilité entre le SETS (passive) et le SF ou le SMT: il s'agit de la nécessité d'examiner les brouillages cumulatifs provoqués par plusieurs systèmes actifs déployés et rayonnant dans les mêmes bandes. Ces études des brouillages cumulatifs devraient tenir compte des obstructions aux émissions du SF et du SMT qui sont dues à la fois au terrain et aux bâtiments.

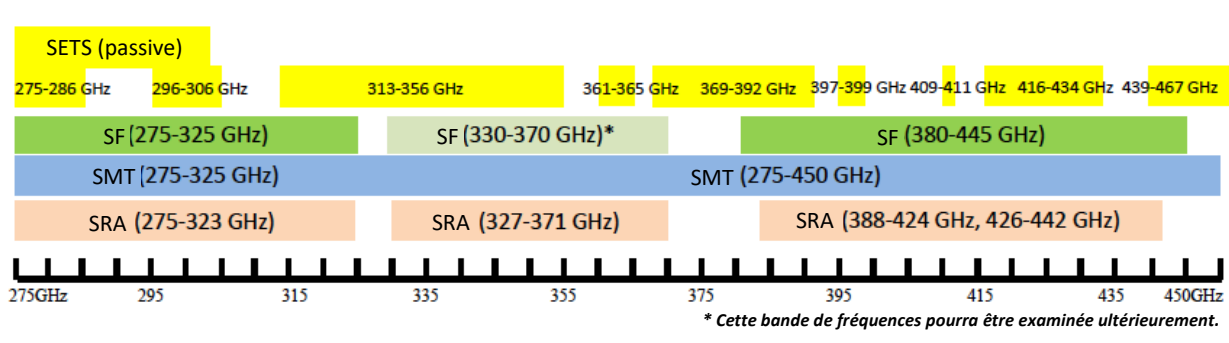
7 Scénarios de brouillages causés par des applications du service mobile terrestre ou du service fixe fonctionnant dans la bande 275-450 GHz à des applications du service passif utilisant les bandes de fréquences identifiées au numéro 5.565 du RR

En vertu du numéro 5.565 du RR, les bandes de fréquences 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz et 426-442 GHz sont identifiées pour être utilisées par des applications du service de radioastronomie, tandis que les bandes 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz et 439-467 GHz sont identifiées pour être utilisées par des applications du SETS (passive). Les études de partage et de compatibilité suivantes ont été examinées:

- 1) Application du SMT fonctionnant dans la bande 275-450 GHz et prise en compte au regard de la protection des stations du SETS fonctionnant dans les bandes 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz et 439-467 GHz.
- 2) Application du SF fonctionnant dans la bande 275-450 GHz et prise en compte au regard de la protection des stations du SETS fonctionnant dans les bandes 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz et 439-450 GHz.
- 3) Application du SF fonctionnant dans la bande 275-450 GHz et prise en compte au regard de la protection des stations du SRA fonctionnant dans les bandes 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz et 426-442 GHz.

FIGURE 9

Bandes de fréquences prises en compte dans les études de partage



7.1 Scénarios de brouillages causés par des applications du SMT fonctionnant dans la bande 275-450 GHz au SETS (passive) et au SRA

Les deux scénarios de brouillages présentés dans le Tableau 15 sont illustrés dans la Fig. 10 et peuvent être pris en compte entre des applications du SMT et des services passifs.

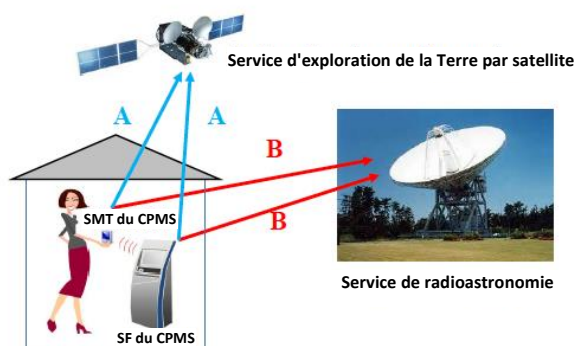
TABLEAU 15
Scénarios de brouillages

Scénario	Origine des brouillages	Victime des brouillages	Modèle de propagation (voir l'Annexe 2)
A	Terminal mobile et station fixe du SMT	Capteur du SETS	Rec. UIT-R P.619, Rec. UIT-R P.2108 ⁽¹⁾ , Rec. UIT-R P.2109 ⁽²⁾
B	Terminal mobile et station fixe du SMT	Station du SRA	Rec. UIT-R P.452, Rec. UIT-R P.2108 ⁽³⁾ , Rec. UIT-R P.2109 ⁽²⁾

- (1) L'affaiblissement de 0 dB dû à des groupes d'obstacles sur le trajet du satellite dans la bande 300 GHz est extrapolé à partir de cette Recommandation.
- (2) L'affaiblissement de 73 dB dû aux bâtiments dans la bande 300 GHz est extrapolé à partir de cette Recommandation.
- (3) L'affaiblissement de 47 dB dû à des groupes d'obstacles sur le trajet terrestre dans la bande 300 GHz est extrapolé à partir de cette Recommandation.

FIGURE 10

Illustration des scénarios de brouillages entre des applications du SMT et des services passifs



7.2 Scénarios de brouillages causés par des applications du SF fonctionnant dans la bande 275-450 GHz au SETS (passive) et au SRA

Les deux scénarios de brouillages indiqués dans le Tableau 16 sont pris en compte entre des applications du SF (liaison de raccordement vers l'avant et vers l'arrière) et des services passifs.

TABLEAU 16

Scénarios de brouillages

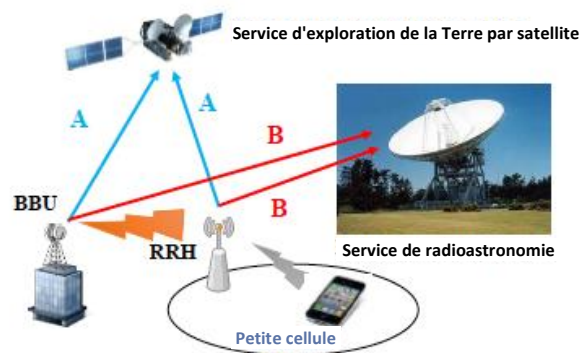
Scénario	Origine des brouillages	Victime des brouillages	Modèle de propagation (voir l'Annexe 2)
A	Liaison de raccordement vers l'avant et vers l'arrière	Capteur du SETS	Rec. UIT-R P.619, Rec. UIT-R P.2108 ⁽¹⁾
B	Liaison de raccordement vers l'avant et vers l'arrière	Station du SRA	Rec. UIT-R P.452, Rec. UIT-R P.2108 ⁽²⁾

(1) L'affaiblissement de 16 dB dû à des groupes d'obstacles sur le trajet du satellite dans la bande 300 GHz et avec un angle d'élévation de 12 degrés est extrapolé à partir de cette Recommandation.

(2) L'affaiblissement de 47 dB dû à des groupes d'obstacles sur le trajet terrestre dans la bande 300 GHz est extrapolé à partir de cette Recommandation.

FIGURE 11

Illustration des scénarios de brouillages entre des applications du SF et des services passifs



8 Études de partage et de compatibilité concernant le SETS (passive)

8.1 Études de partage et de compatibilité entre des applications du SMT et des applications du Service d'exploration de la Terre par satellite (passive)

Les études de partage entre des applications du SMT et le SETS (passive) sont détaillées dans l'Annexe 4.

L'étude 3 contient une analyse des brouillages pouvant être causés par des applications du SMT fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz aux systèmes du SETS (passive). La méthode adoptée dans cette analyse consistait à effectuer une seule analyse du champ de vision instantané (IFOV) de chaque type de capteur passif. Selon les conclusions de l'étude, les systèmes sont compatibles sans qu'il soit nécessaire de mettre en place une réglementation obligatoire dans les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 320-330 GHz et 356-450 GHz. Il est également indiqué dans l'étude que dans la bande 275-286 GHz, les applications du SMT peuvent poser des problèmes pour les capteurs à balayage conique et les capteurs à balayage du nadir; néanmoins, cette bande n'est actuellement utilisée que par des sondeurs de limbe.

Selon la conclusion de l'étude 4, les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 319-332 GHz et 356-450 GHz peuvent être utilisées pour des applications du SMT sans conditions particulières. Certains cas d'utilisation en intérieur et en extérieur ont aussi été étudiés afin d'identifier d'éventuelles gammes de fréquences pour des applications du CPMS dans le SMT.

8.2 Études de partage et de compatibilité entre des applications du SF et des applications du SETS (passive)

Plusieurs études de partage et de compatibilité ont été effectuées pour rechercher des bandes de fréquences susceptibles d'être utilisées par des applications du SF. Ces études sont détaillées dans l'Annexe 4.

L'étude 2 porte essentiellement sur l'analyse d'une seule source de brouillage entre des stations du SF et le SETS (passive), qui prend en compte trois scénarios de pointage différents dans l'ensemble de la gamme de fréquences 275-450 GHz, ainsi que sur une analyse globale effectuée pour des distributions d'angles d'élévation du SF de ± 20 et ± 12 degrés. Elle montre que la compatibilité est possible dans les bandes de fréquences 275-286 GHz, 318-334 GHz, 350-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz et 439-450 GHz.

L'étude 3 contient une analyse des brouillages pouvant être causés par des applications du SF fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz aux systèmes du SETS (passive). La méthode adoptée dans cette analyse consistait à effectuer une seule analyse du champ de vision instantané (IFOV) de chaque type de capteur passif. Selon les conclusions de l'étude, les systèmes sont compatibles dans les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 320-330 GHz et 356-450 GHz. Il est également indiqué dans l'étude que dans la bande 275-286 GHz, les applications du SF peuvent poser des problèmes pour les capteurs à balayage conique et les capteurs à balayage du nadir; néanmoins, cette bande n'est actuellement utilisée que par des sondeurs de limbe.

L'étude 4 contient une analyse des brouillages cumulatifs dans la gamme de fréquences 275-450 GHz. Il s'agissait d'évaluer la compatibilité entre une station du SF et des capteurs du SETS (passive). L'étude a montré que les stations du SF ne causent pas de brouillage aux capteurs du SETS (passive) dans les bandes de fréquences 275-296 GHz, 306-313 GHz, 318-336 GHz et 348-450 GHz. Bien que la bande 275-450 GHz soit partagée en quatre segments de fréquences, il est possible de trouver une bande contiguë de 50 GHz.

L'étude 5 a montré que les bandes suivantes qui sont actuellement identifiées pour le SETS (passive) au numéro 5.565 du RR ne peuvent pas être utilisées par le SF: 296-306 GHz, 313-320 GHz et 331-356 GHz. Dans le reste de la gamme de fréquences 275-450 GHz, l'emploi du SF peut être envisagé. Ces bandes suffiraient à répondre aux besoins de spectre du SF, qui sont de 50 GHz.

8.3 Résumé des études de partage et de compatibilité concernant le SETS (passive)

On trouvera dans le Tableau 17 un résumé des bandes dont l'utilisation est proposée pour les applications du SF et du SMT dans les études 2, 3, 4 et 5. Ces études ont montré que certaines bandes de fréquences pouvaient être employées par le service mobile terrestre et le service fixe. Si chaque étude présente des résultats légèrement différents (comme on peut le voir dans le tableau), elles concordent toutes sur le fait que les bandes de fréquences suivantes pourraient être utilisées par les applications du SF et du SMT sans conditions particulières, dès lors que la protection des services passifs est préservée:

- Applications du SF et du SMT: 275-296 GHz, 306-313 GHz, 320-330 GHz et 356-450 GHz.

Ces conclusions ne concernent pas la compatibilité avec la radioastronomie, qui est traitée dans la section suivante.

TABLEAU 17

Résumé des conclusions de l'étude

Étude	Service d'application	Bandes compatibles avec le SF ou le SMT (aucune condition particulière nécessaire pour protéger le SETS (passive))			
		Bande 1 (GHz)	Bande 2 (GHz)	Bande 3 (GHz)	Bande 4 (GHz)
2	SF & SMT	275-296	306-313	318-333	356-450
3	SF & SMT	275-296	306-313	320-330	356-450
4	SF & SMT	275-296	306-313	319-332	356-450
5	SF & SMT	275-296	306-313	318-333	356-450

9 Études de partage et de compatibilité concernant le SRA**9.1 Études de partage et de compatibilité entre des applications du SMT et le service de radioastronomie**

Aucune étude de partage et de compatibilité n'a été effectuée entre des applications du SMT et le service de radioastronomie. Néanmoins, les conclusions du Rapport UIT-R RA.2189-1 peuvent s'étendre à tout type de service du fait que ce rapport ne prend en compte que le niveau de puissance d'un seul émetteur et sa séparation vis-à-vis du site de radioastronomie. Selon les conclusions de ce rapport, les études de partage concernant le lieu géographique de chaque installation doivent être menées au cas par cas. En ce qui concerne les applications du SMT, il convient de prendre en compte les brouillages cumulatifs.

9.2 Études de partage entre les applications du SF et le service de radioastronomie

Plusieurs études de partage et de compatibilité ont été effectuées pour rechercher des bandes de fréquences susceptibles d'être utilisées par des applications du SF. Ces études sont détaillées dans l'Annexe 5.

L'étude 1 porte sur deux exemples présentant les conditions généralement rencontrées au voisinage des sites servant aux observations de radioastronomie. Les deux géométries étudiées portaient respectivement sur une liaison du SF et le SRA dans un même plan plane, l'angle par rapport à l'azimut et la puissance de la liaison du SF étant variables, et sur une liaison du SF et le SRA à différentes altitudes, le faisceau du SF étant fixe à l'azimut de fonctionnement du SRA, et la distance et l'angle d'élévation étant variables. Trois fréquences ont été prises en compte dans l'étude: 275 GHz, 345 GHz et 412 GHz. Ces études ont montré qu'il peut être nécessaire de prévoir des distances de séparation ainsi que des angles d'évitement en azimut et en altitude pour protéger les sites du SRA, car les affaiblissements dus à l'atmosphère ne permettent pas à eux seuls de garantir la compatibilité.

L'étude 2 contient plusieurs calculs des distances de séparation nécessaires entre la station du SF et le site du SRA à différentes altitudes. Elle montre qu'une distance de séparation de 150 km est nécessaire et que des distances de séparation minimales peuvent être appliquées dans le cas des crêtes d'absorption atmosphérique. Les distances peuvent être réduites si l'on tient compte de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles.

9.3 Résumé des études de partage et de compatibilité concernant le SRA

Les études de compatibilité entre le SRA et les applications du SF ont montré que dans la bande 275-450 GHz, les affaiblissements dus à l'atmosphère ne permettent pas à eux seuls, indépendamment des affaiblissements dus à l'espace libre, de garantir la compatibilité entre les activités du SF et du SRA en l'absence de toute autre considération. Dans les bandes identifiées pour les applications du SRA au numéro **5.565** du RR (à savoir les bandes 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz et 426-442 GHz), il faut prévoir des distances de séparation et/ou des angles d'évitement entre les stations du SRA et les stations du SF en fonction de l'environnement de déploiement de ces dernières.

En cas d'exploitation à une même altitude géographique, il est indispensable que les faisceaux du SF ne soient pas pointés trop près d'un site du SRA. L'ouverture de l'angle d'évitement va dépendre, entre autres variables, des particularités du diagramme de faisceau du SF employé dans toutes les situations. Si les activités du SRA sont effectuées à une altitude élevée avec une visibilité directe sur des activités du SF se déroulant à une altitude très inférieure, les faisceaux du SF peuvent être dirigés en azimuth vers le site du SRA à des fréquences proches de la limite supérieure de la bande, ou avec des séparations horizontales suffisantes; toutefois, la question doit alors être étudiée au cas par cas en fonction du niveau de puissance de l'émetteur.

Les scénarios concernant des brouillages cumulatifs causés par le déploiement de plusieurs sources du SF devront être modélisés en détail en tenant compte des particularités de chaque situation; ils devront faire l'objet d'une évaluation au cas par cas.

Annexe 1

TABLEAU A1-1

Bandes présentant un intérêt pour le SETS (passive) entre 275 et 450 GHz
(extrait du Rapport UIT-R RS.2194)

Bande(s) de fréquences (GHz)	Largeur de bande totale requise (MHz)	Raie(s) spectrale(s) (GHz)	Mesure			Mode de balayage habituel	Instrument(s) existant(s) ou prévu(s)	Informations complémentaires
			Météorologie – climatologie	Fenêtre (GHz)	Chimie			
275-285,4	10 400	276,33 (N ₂ O), 278,6 (ClO)		276,4-285,4	N ₂ O, ClO	Limbe		Chimie (275-279,6), Fenêtre (276,4-285,4)
296-306	10 000	Fenêtre pour 325,1, 298,5 (HNO ₃), 300,22 (HOCl), 301,44 (N ₂ O), 303,57 (O ₃), 304,5 (O ¹⁷ O), 305,2 (HNO ₃),	Canal latéral pour les sondages de température	296-306	OXYGÈNE, N ₂ O, O ₃ , O ¹⁷ O, HNO ₃ , HOCl	Nadir, Limbe		Fenêtre (296-306), Chimie (298-306)
313,5-355,6	42 100	313,8 (HDO), 315,8, 346,9, 344,5, 352,9 (ClO), 318,8, 345,8, 344,5 (HNO ₃), 321,15, 325,15 (H ₂ O), 321, 345,5, 352,3, 352,6, 352,8 (O ₃), 322,8, 343,4 (HOCl), 345,0, 345,4 (CH ₃ Cl), 345,0 (O ¹⁸ O), 345,8 (CO), 346 (BrO), 349,4 (CH ₃ CN), 351,67 (N ₂ O), 354,5 (HCN),	PROFIL DE VAPEUR D'EAU, NÉBULOSITÉ, Canal latéral pour les sondages de température	339,5-348,5	H ₂ O, CH ₃ Cl, HDO, ClO, O ₃ , HNO ₃ , HOCl, CO, O ¹⁸ O, HCN, CH ₃ CN, N ₂ O, BrO	Nadir, Conique, Limbe	STEAMR (PREMIER), CLOUDICE, MWI (ICI), GOMAS, GEM	Raie de la vapeur d'eau à 325,15 (314,15-336,15, largeur de bande: 3 GHz max, décalage: 9,5 GHz), Mesures de nébulosité (331,65-337,65, 314,14-348, 339-348, 314,14-317,15, 320,45-324,45, 325,8-329,85, 336-344, 339-348), CLOUDICE (314,15-336,15), MWI (ICI) (313,95-336,35) Fenêtre (339,5-348,5), GEM Chimie (342-346), STEAMR ⁽⁴⁾ (PREMIER) Chimie (310,15-359,85)
361,2-365	3 800	364,32 (O ₃)	Canal latéral pour le profil de vapeur d'eau		O ₃	Nadir, Limbe	GOMAS	GOMAS vapeur d'eau (361-363), Chimie (363-365)

TABLEAU A1-1 (fin)

Bande(s) de fréquences (GHz)	Largeur de bande totale requise (MHz)	Raie(s) spectrale(s) (GHz)	Mesure			Mode de balayage habituel	Instrument(s) existant(s) ou prévu(s)	Informations complémentaires
			Météorologie – climatologie	Fenêtre (GHz)	Chimie			
369,2-391,2	22 000	380,2 (H ₂ O)	PROFIL DE VAPEUR D'EAU			Nadir, Limbe	GEM, GOMAS	Raie de la vapeur d'eau (369,2-391,2, largeur de bande: 3 GHz max, décalage: 9,5 GHz), GEM sondage de vapeur d'eau (379-381), Profil de vapeur d'eau (371-389), satellites en orbite polaire et OGS (FY4) pour les précipitations sur des montagnes et des plaines enneigées (proche de 380) GOMAS (370,2-390,2)
397,2-399,2	2 000		PROFIL DE VAPEUR D'EAU				GOMAS	GOMAS (397,2-399,2)
409-411	2 000		Sondage de température			Limbe		
416-433,46	17 460	424,7 (O ₂)	OXYGÈNE, profil de température			Nadir, Limbe	GEM, GOMAS	Raie de l'oxygène (416,06-433,46, largeur de bande: 3 GHz max, décalage: 7,2 GHz), GEM Oxygène (416-433) GOMAS (420,26-428,76)
439,1-466,3	27 200	442 (HNO ₃), 443,1, 448 (H ₂ O), 443,2 (O ₃),	PROFIL DE VAPEUR D'EAU, NÉBULOSITÉ	458,5-466,3	O ₃ , HNO ₃ , N ₂ O, CO	Nadir, Limbe, Conique	MWI (ICI), CLOUDICE	Raie de l'eau (439,3-456,7, largeur de bande: 3 GHz max, décalage: 7,2 GHz), Mesures de nébulosité (452,2-458,2, 444-447,2, 448,8-452, 459-466), CLOUDICE (439,3-456,7), MWI (ICI) (439,1-456,9), Chimie (442-444), Fenêtre (458,5-466,64),

(4) Comme l'instrument nécessite un étalonnage de l'oscillateur local pour que les mesures soient aussi précises que possible, la bande de fréquences indiquée pour cet instrument (STEAMR) a une largeur supérieure à celle qui est indiquée dans la première colonne correspondante.

Annexe 2

Extrapolation de l'affaiblissement dû aux bâtiments et de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles indiqués dans les Recommandations UIT-R P.2108 et UIT-R P.2109 pour les études de partage et de compatibilité

On trouvera dans la présente Annexe une estimation des affaiblissements médians dus aux bâtiments et à des groupes d'obstacles dans la bande 300 GHz. Cette estimation a été effectuée par extrapolation à partir des valeurs indiquées dans les Recommandations UIT-R P.2109 et UIT-R P.2108. La Fig. A2-1 montre que l'affaiblissement dû aux bâtiments (BEL) calculé par extrapolation dans la bande 300 GHz est d'environ 73 dB dans le cas d'un bâtiment à bon rendement thermique, et de 27,7 dB pour un bâtiment plus ancien. Dans un souci de simplicité, nous n'avons pas tenu compte de l'affaiblissement supplémentaire dû à la façade du bâtiment. Cependant, si la valeur médiane du BEL peut être extrapolée à partir du modèle, il faudrait connaître l'ensemble de la distribution du BEL pour pouvoir utiliser ces informations dans les études de partage. Dans sa forme actuelle, le modèle de BEL ne peut donner de distributions que jusqu'à des fréquences de 100 GHz. Des informations plus détaillées sur l'affaiblissement dû aux bâtiments seront peut-être disponibles à l'avenir pour les fréquences qui nous intéressent; nous pourrions alors éviter de faire des extrapolations.

La Fig. A2-2 montre la valeur médiane de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles obtenue par extrapolation pour le trajet de satellite à $p = 50\%$ et à différents angles d'élévation. Toutefois, cette valeur médiane ne peut être exploitée dans les études de partage et de compatibilité; il faudrait disposer de toute la distribution des valeurs de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles à une fréquence et une altitude données. Cette distribution peut être calculée à partir du modèle d'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles. Comme cet affaiblissement est proche de zéro pour le trajet d'un satellite ayant un angle d'élévation de 90 degrés, il n'est pas pris en compte dans les études de brouillages causés par des applications du SMT au SETS (passive). La Fig. A2-3 illustre l'extrapolation de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles pour des trajets terrestres, calculée à partir de la Recommandation UIT-R P.2109.

FIGURE A2-1
 Extrapolation de l'affaiblissement médian dû aux bâtiments
 à partir de la Recommandation UIT-R P.2109

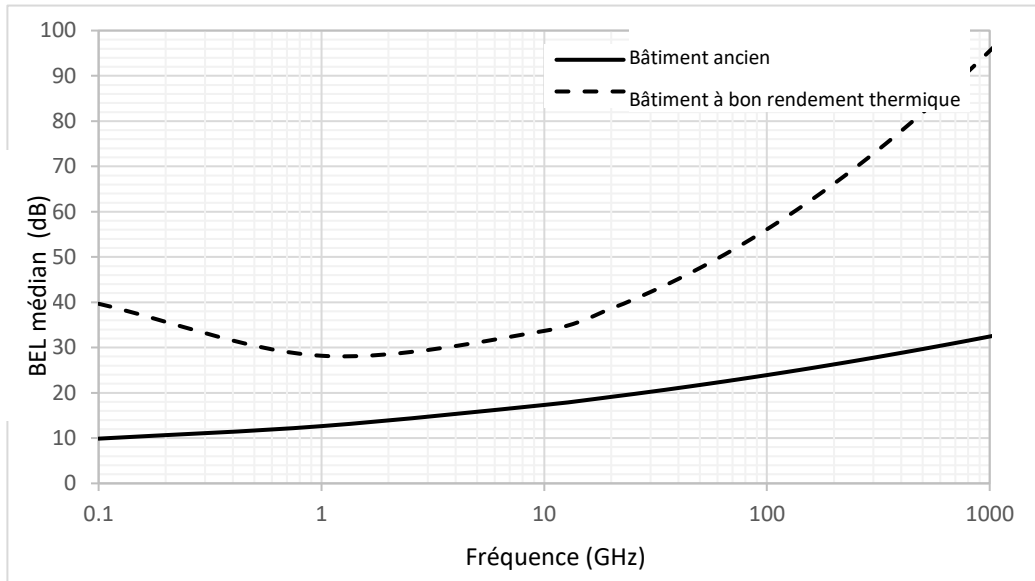
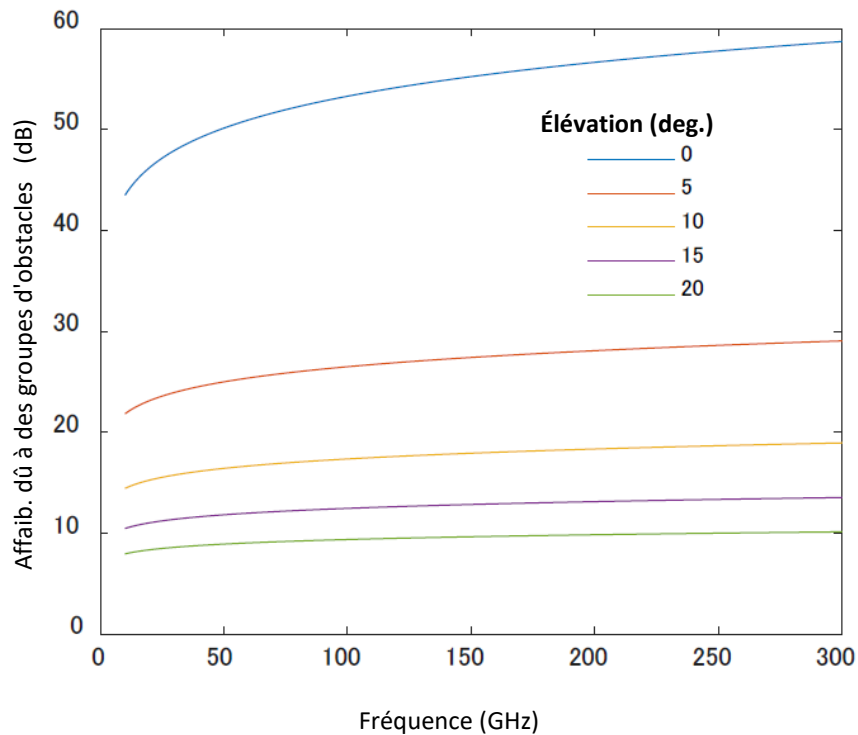


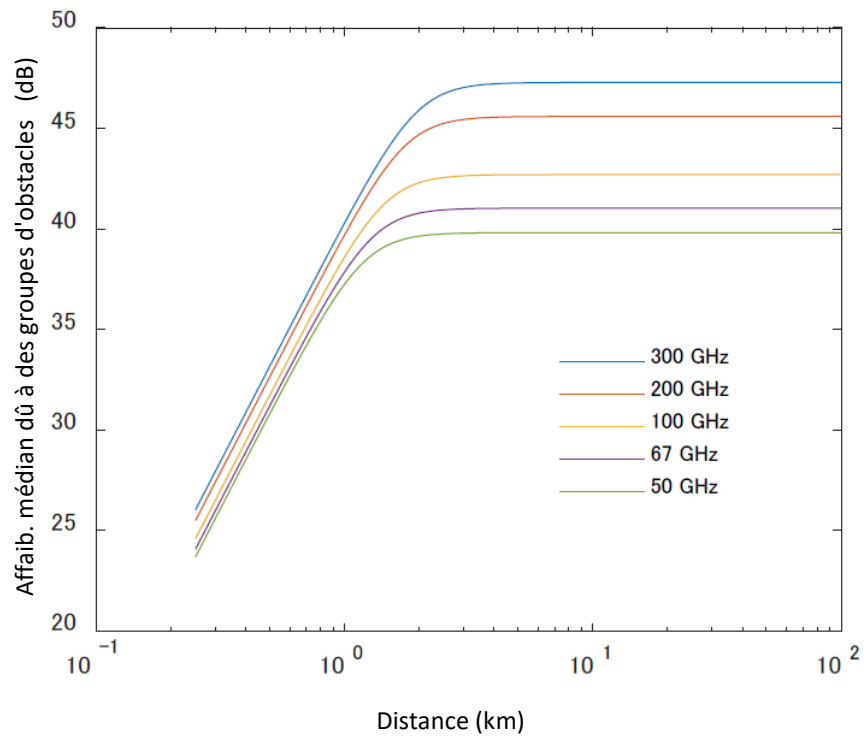
FIGURE A2-2
 Extrapolation de l'affaiblissement médian dû à des groupes d'obstacles (p=50%)
 pour le trajet du satellite à partir de la Recommandation UIT-R P.2108



NOTE – Il faut employer la distribution complète du modèle d'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles dans les études de partage et de compatibilité.

FIGURE A2.3

Affaiblissement dû à des groupes d'obstacles extrapolé pour le trajet terrestre à partir de la Recommandation UIT-R P.2108



Annexe 3

Résultat des mesures du diagramme de rayonnement d'antenne à 300 GHz

On trouvera dans la présente Annexe le diagramme de rayonnement d'antenne employé dans certaines études figurant à l'Annexe 4.

FIGURE A3-1

Mesure des caractéristiques d'antennes à 30 dBi et à 15 dBi

a) Antenne cornet à 30 dBi

b) Antenne CPMS à 15 dBi

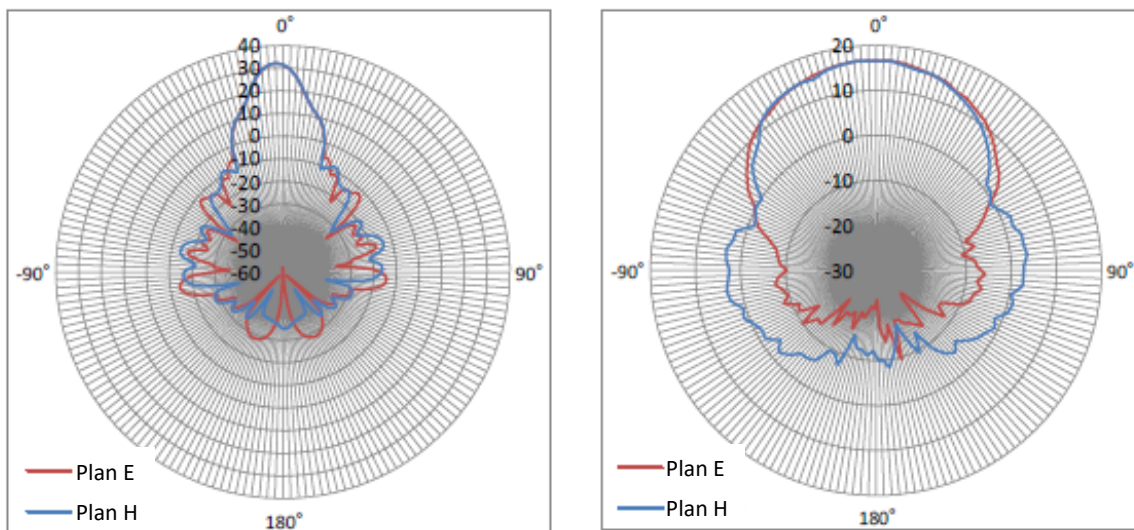
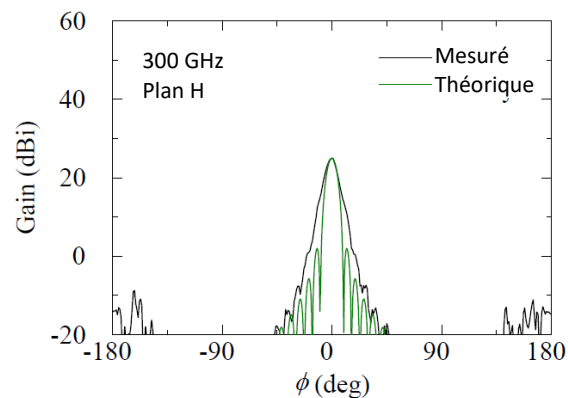


FIGURE A3-2

Mesure du diagramme d'une antenne cornet dont le gain d'antenne est de 25 dBi

a) Plan H



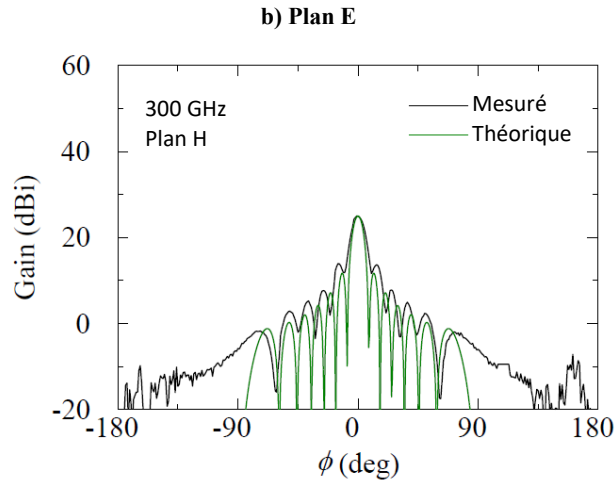


FIGURE A3-3

Mesure des caractéristiques d'une antenne parabolique excentrée dont le gain maximum est de 49 dBi

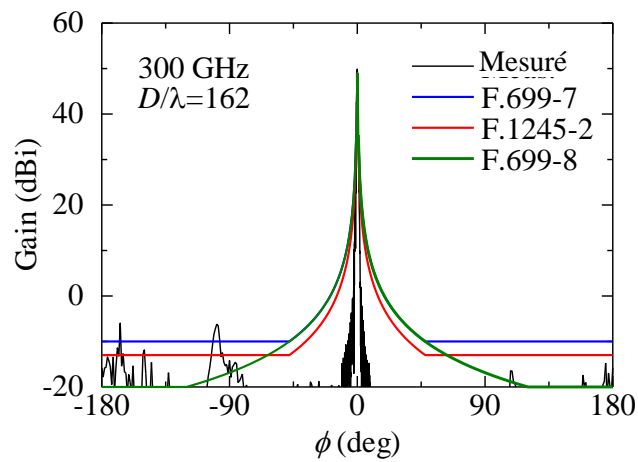
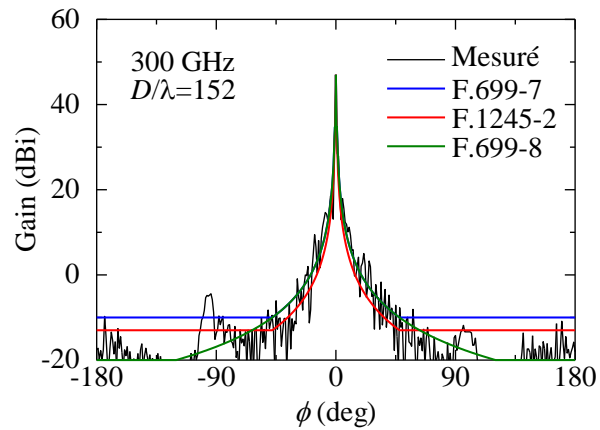


FIGURE A3-4

Mesure des caractéristiques d'une antenne Cassegrain dont le gain maximum est de 47 dBi



Annexe 4

Études de partage entre des applications du service mobile terrestre et du service fixe et le service d'exploration de la Terre par satellite

A4.1 Introduction

La présente Annexe reprend les résultats de quatre études de partage (études 2, 3, 4 et 5) entre le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) et des applications du service fixe (SF) et du service mobile terrestre (SMT) dans les bandes identifiées pour le SETS (passive) dans la gamme de fréquences 275-450 GHz.

Les bandes de fréquences examinées, qui sont identifiées au numéro **5.565** du RR, sont les suivantes: 275-286 GHz, 296-306 GHz, 313-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz et 439-467 GHz.

Comme les bandes 275-286 GHz et 409-411 GHz sont limitées à une utilisation du SETS (passive) par des sondeurs de limbe, on considère par principe qu'elles sont déjà exploitées par des applications du SMT et du SF.

À noter également que l'étude 1 contient une première analyse statique du partage entre le SF et le SETS (passive) ayant été effectuée avant que les caractéristiques finales du SF soient établies. Néanmoins, il nous a semblé utile de conserver cette étude à titre de référence.

A4.2 Étude 1: Analyse statique de partage entre le SF/SMT et le SETS (passive)

La présente étude est une analyse statique du partage entre une station du SF/SMT et un satellite du SETS (passive) vers lequel la station pointe directement. Nous avons calculé le niveau maximal de brouillage d'un capteur du SETS (passive) pour une seule source de brouillage.

A4.2.1 Niveaux d'émission maximaux admissibles pour une seule source de brouillage

Si l'on analyse les émissions d'une seule source de brouillage provenant du SF/SMT en tout point de la Terre, on peut calculer l'affaiblissement composite à un capteur du SETS (passive) à partir de trois facteurs:

- l'affaiblissement en espace libre Att_{FS} , qui dépend de la longueur du trajet oblique entre le satellite et le point sur Terre;
- l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques Att_{GAS} (voir la Recommandation UIT-R P.676), qui dépend de l'élévation du satellite vu depuis le point sur Terre; et
- le gain d'antenne relatif du capteur G_{discr} , qui dépend de l'angle auquel le point sur Terre est vu depuis le satellite, comparé à l'angle de pointage du capteur.

Il convient de noter que l'affaiblissement d'un signal provenant de la surface de la Terre et émis en direction d'un capteur du SETS (passive) peut être supérieur, s'il est calculé au fil du temps, à la somme des éléments de l'affaiblissement composite énumérés plus haut lorsque la réfraction de l'atmosphère est prise en compte. Cependant, il faut noter aussi que le trajet d'émission depuis un émetteur sur Terre vers un capteur du SETS (passive) a la même probabilité d'être réfracté vers ce capteur que d'être réfracté vers une autre direction. La réfraction de l'atmosphère a donc un effet neutre sur les résultats de cette analyse statique et peut également être négligée dans les analyses dynamiques qui pourraient se révéler nécessaires.

Le brouillage causé par un seul émetteur sur Terre au récepteur du capteur sur le satellite (pour une puissance rayonnée P dans la direction du satellite), à un point donné sur Terre, est alors le suivant:

$$I = P - Att_{FS} - Att_{GAS} + G_{discr} = P - Att_{composite}$$

où:

$$Att_{composite} = Att_{FS} + Att_{GAS} - G_{discr} = \text{«affaiblissement composite»}.$$

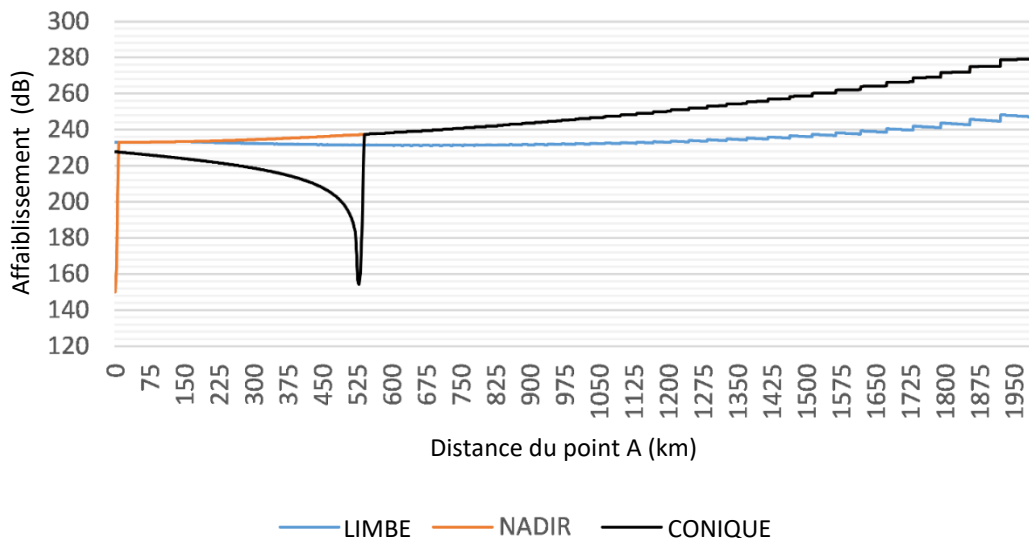
Si l'on prend l'exemple de la bande 296-306 GHz, la Fig. A4-1 illustre le résultat des calculs de l'affaiblissement composite entre un point sur Terre et les trois types de capteurs passifs du SETS.

Cette analyse commence au point A (nadir du satellite) et monte au point B, situé à 2 000 km de A. Cette distance est la plus grande possible entre une source de brouillage et le nadir d'un satellite orbitant à 817 km d'altitude, compte tenu de la zone de mesure définie dans la Recommandation UIT-R RS.2017.

- Altitude du satellite = 817 km
- Gain d'antenne du capteur sur le satellite = 60 dBi
- Diagramme d'antenne du capteur sur le satellite (Recommandation UIT-R RS.1813)
- Affaiblissement dû aux gaz atmosphériques à 301 GHz (Recommandation UIT-R P.676, Annexe 2 (modèle simplifié))
- Altitude de pointage pour le sondeur de limbe = 25 km
- Angle par rapport au nadir pour le capteur conique = 32,2°.

FIGURE A4-1

Affaiblissement composite causé par des émissions du SF/SMT au SETS (passive)
pour les modes N, L et C



Compte tenu des hypothèses présentées plus haut, nous pouvons observer sur cette Figure que:

- L'affaiblissement composite causé aux sondeurs de limbe est toujours entre 230 et 250 dB.
- L'affaiblissement composite causé aux capteurs nadir et coniques est à son minimum lorsque l'angle d'incidence de l'antenne du capteur par rapport à la Terre est respectivement de 150 dB et de 154 dB.

L'affaiblissement composite augmente en fonction de la fréquence et avec l'accroissement de la distance au nadir (c'est-à-dire les angles d'élévation par rapport à l'emplacement du dispositif et du capteur du SETS). Toutefois, comme les capteurs du SETS (passive) sont déployés sur des satellites non OSG, l'angle d'élévation du dispositif par rapport au capteur change à mesure que le satellite avance sur son orbite, et le brouillage total sera essentiellement causé par les dispositifs situés près du point d'intersection entre le faisceau du SETS et la Terre à l'angle d'incidence du capteur.

Dans la pratique, le brouillage total reçu par le capteur du SETS (passive) sera la somme de tous les brouillages calculée pour toutes les sources de brouillage situées dans la visibilité du satellite, y compris les brouillages que le capteur reçoit par les lobes latéraux de son antenne. Compte tenu du niveau élevé de brouillage composite calculé pour les sondeurs de limbe, l'expérience montre que pour faire les calculs concernant le faisceau principal, il suffit de décrire les brouillages dont seraient victimes les capteurs nadir et coniques, les brouillages reçus sur les lobes latéraux pouvant être négligés en raison de la discrimination d'antenne.

Dès lors, compte tenu de la conception courante des capteurs du SETS (passive) présentée dans le Tableau A1-1, le Tableau ci-dessous montre les niveaux d'émission admissibles pour une seule source de brouillage causé par le SF ou le SMT aux capteurs du SETS (passive) dans la zone de référence qui serait nécessaire pour garantir la protection de ces capteurs dans la bande 296-306 GHz.

Il convient de souligner que toute conclusion concernant le partage entre le SETS (passive) et le SF et le SMT dans la bande 275-450 GHz doit aussi tenir compte des brouillages cumulatifs causés par le SF et le SMT dans une empreinte (zone de référence) du SETS (passive) parallèlement à la prise en compte des critères de disponibilité des données établis dans la Recommandation UIT-R RS.2017 à propos de la zone de mesure prescrite. Ni les brouillages cumulatifs causés par le SF et le SMT ni les critères de disponibilité des données ne sont pris en compte dans le Tableau A4-1.

TABLEAU A4-1

Niveaux d'émission maximaux admissibles pour une seule source de brouillage dirigée vers le SETS (passive)⁶

Paramètre	Unité	Idx	Nadir	Conique	Limbe
Orbite du satellite	km		817	817	817
Angle d'incidence de l'antenne vers la Terre	°		0	53	Sans objet
Longueur du trajet oblique (au centre de l'empreinte)	km		817	991	
Affaiblissements en espace libre, Att_{FS}	dB	a	200,3	201,9	
Affaiblissements dus à l'atmosphère (P.676), Att_{GAS}	dB	b	9,8	12,2	
Gain d'antenne du capteur	dBi	c	60	60	
Affaiblissement composite, $Att_{composite}$	dB	$d = a + b - c$	150,1	154,1	230 à 250
Critères de protection cumulatifs (RS.2017)	dBW	e	-160	-160	-194
Largeur de bande de référence	MHz		200	200	3
Répartition des critères de protection (50% SF et 50% SMT)	dB	f	3	3	3
Niveaux d'émission maximaux pour une seule source de brouillage dirigée vers le SETS (passive) dans la zone de référence	dBW/200 MHz	$= e - f + d$	-12,9	-8,9	33 à 53 dBW/ 3 MHz
Zone de référence (taille de l'empreinte pour les capteurs nadir et conique, visibilité pour le sondeur de limbe)	km ²		10(N)/20(C)	10(N)/20(C)	29,5 M

⁶ Les niveaux d'émission maximaux admissibles pour une seule source de brouillage du SF/SMT pouvant être pointée vers le SETS (passive) reposent sur le scénario de brouillage le plus défavorable qui puisse se produire entre le SF/SMT et le capteur du SETS (passive).

A4.2.2 Niveaux d'émission maximaux pour une seule source de brouillage causé par des systèmes du SF

Les paramètres du SF dans la gamme 275-450 MHz sont indiqués dans le Rapport UIT-R F.2416 et repris dans le Tableau 7 du présent rapport.

Dans l'hypothèse d'une p.i.r.e. de l'émetteur du SF de 0 dBW, le Tableau A4-2 présente les calculs de la densité de p.i.r.e. du SF (dBW/200 MHz) pour les deux valeurs extrêmes de gain d'antenne du SF et pour toutes les largeurs de bande considérées dans les Tableaux 7 et A4-2 ci-dessus.

TABLEAU A4-2
Densité de p.i.r.e. du SF (dBW/200 MHz)

Largeur de bande du SF (GHz)	Facteur de largeur de bande vs 200 MHz	Densité de p.i.r.e. (dBW/200 MHz) pour une antenne à 24 dBi	Densité de p.i.r.e. (dBW/200 MHz) pour une antenne à 50 dBi
2,16	-10,3	13,7	39,7
4,32	-13,3	10,7	36,7
8,64	-16,4	7,6	33,6
12,96	-18,1	5,9	31,9
17,28	-19,4	4,6	30,6
25,92	-21,1	2,9	28,9
51,84	-24,1	-0,1	25,9
69,12	-25,4	-1,4	24,6

Les résultats du Tableau A4-2 combinés à ceux du Tableau A4.1 montrent que la densité de p.i.r.e. à 200 MHz est supérieure aux niveaux d'émission admissibles pour une seule source de brouillage causé par le SF de la manière suivante:

- Instruments coniques (limite de -8,9 dBW/200 MHz):
 - 7,5 à 22,6 dB (pour une antenne à 24 dBi);
 - 33,5 à 48,6 dB (pour une antenne à 50 dBi).
- Instruments nadir (limite de -12,9 dBW/200 MHz):
 - 11,5 à 26,6 dB (pour une antenne à 24 dBi);
 - 37,5 à 52,6 dB (pour une antenne à 50 dBi).

A4.2.3 Résumé de l'étude 1

Cette étude montre que les émissions provenant d'un seul émetteur du SF/SMT pointant directement vers un satellite du SETS (passive) équipé d'un capteur nadir ou conique dépasseraient le seuil de brouillage admissible. Elle démontre que si l'on ne prend en compte que les caractéristiques des émissions d'une seule source de brouillage causé par le SF/SMT et le partage des affaiblissements composites entre le SF/SMT et les instruments nadir et coniques du SETS (passive) dans la bande 296-306 GHz (ainsi que dans toutes les autres bandes de la gamme 275-450 GHz exploitées par ces instruments), le partage pourrait poser des problèmes. Cette première étude n'a pas tenu compte des affaiblissements cumulatifs découlant de la densité de déploiement du SMT et du SF. L'affaiblissement sur le trajet varie considérablement en fonction de la fréquence et de l'angle d'élévation; d'une manière générale, il augmente à des fréquences plus élevées et à des angles

d'élévation plus faibles. Toute analyse ultérieure devra donc prendre en compte les angles d'élévation opérationnels des systèmes du SF.

Il conviendra en outre d'analyser des scénarios cumulatifs dans des études ultérieures des sondeurs de limbe. Il faudra donc également décrire des scénarios de déploiement du SF qui comprennent des éléments traduisant la densité des équipements au km² dans différents environnements (rural, suburbain et urbain).

Le partage entre le SF et le SETS (passive) dans la gamme 275-450 GHz devra faire l'objet d'études supplémentaires portant à la fois sur des scénarios avec une seule source de brouillage et des scénarios cumulatifs, pour différents types de capteurs du SETS (passive) et différentes gammes de fréquences.

Cependant, pour formuler les conclusions finales, il convient au préalable de préciser les éléments suivants:

- La description de la distribution des altitudes du SF prévues dans la bande au-dessus de 275 GHz.
- La description du ou des diagrammes d'antenne du SF.
- La description des scénarios de déploiement du SF (densité d'équipement au km²) dans différents environnements (rural, suburbain et urbain).

Des éléments analogues seront aussi nécessaires pour pouvoir étudier le partage entre le SMT et le SETS (passive).

Enfin, il conviendra d'examiner la compatibilité du SETS (passive) dans les bandes adjacentes aux activités envisagées du SF et du SMT, notamment lorsque les systèmes exploiteront de très grandes largeurs de bande. À cette fin, il faudra disposer aussi d'informations sur les gabarits pertinents des émissions du SF et du SMT.

A4.3 Étude 2: Évaluation des brouillages causés par le SF au SETS (passive)

A4.3.1 Évaluation des brouillages causés par une seule source du SF au SETS (passive)

Cette étude est une analyse statique du partage entre une station du SF et un satellite du SETS (passive) pour trois scénarios de pointage différents dans l'ensemble de la gamme de fréquences 275-450 GHz.

Les trois scénarios envisagés dans cette analyse sont illustrés dans la Fig. A4-2. Le scénario 1 correspond à la situation dans laquelle le gain d'antenne maximum du SF coïncide avec le fonctionnement maximum de l'antenne du satellite du SETS en mode nadir. Dans le scénario 2, le gain d'antenne maximum du SF coïncide avec le fonctionnement maximum de l'antenne du satellite du SETS en mode de balayage conique. Dans le scénario 3, la station du SF utilise des angles d'élévation courants qui sont indiqués dans le Tableau 7 du texte principal du présent Rapport; en d'autres termes, on considère la présence d'une certaine discrimination d'antenne.

FIGURE A4-2
Scénarios de brouillage entre un seul émetteur du SF et le SETS

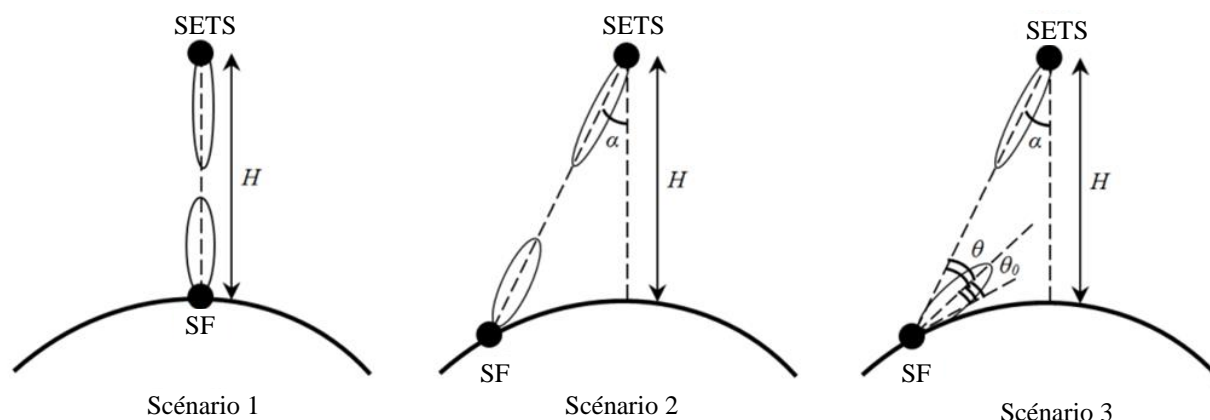


TABLEAU A4-3
Paramètres du SF employés dans l'étude
sur une seule source de brouillage

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
p.i.r.e. de la station du SF (dBm)	20	20	20
Gain du SF en direction du satellite du SETS	24/50	24/50	10,8/-2.4
Largeur de bande du SF (GHz)	2/25	2/25	2/25
Altitude du SETS (km)	400	400	400
Angle de pointage α du SETS (degrés)	0	45	45

Les Figs. A4-3 à A4-5 illustrent les niveaux de brouillage causés par une seule source dans la gamme de fréquences 275-450 GHz. Dans ces figures, les fréquences indiquées en bleu ne sont utilisées que par des sondeurs de limbe du SETS (passive). Le niveau de brouillage maximum admissible est indiqué par une ligne en pointillés rouges.

FIGURE A4-3

Brouillages entre une station du SF et un satellite du SETS fonctionnant en mode nadir (scénario 1)

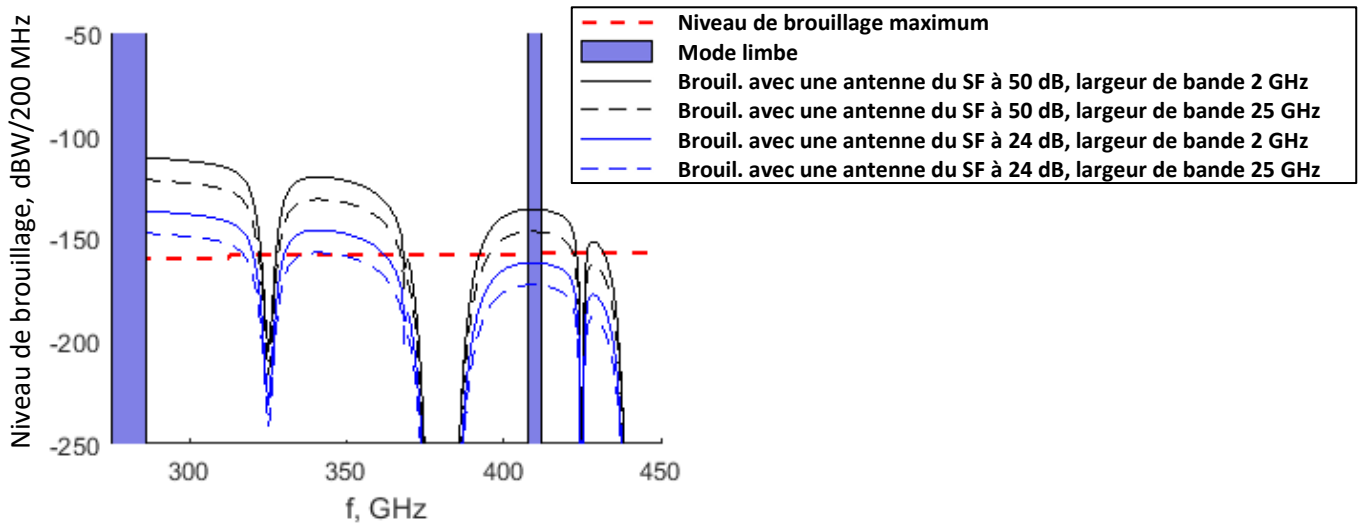
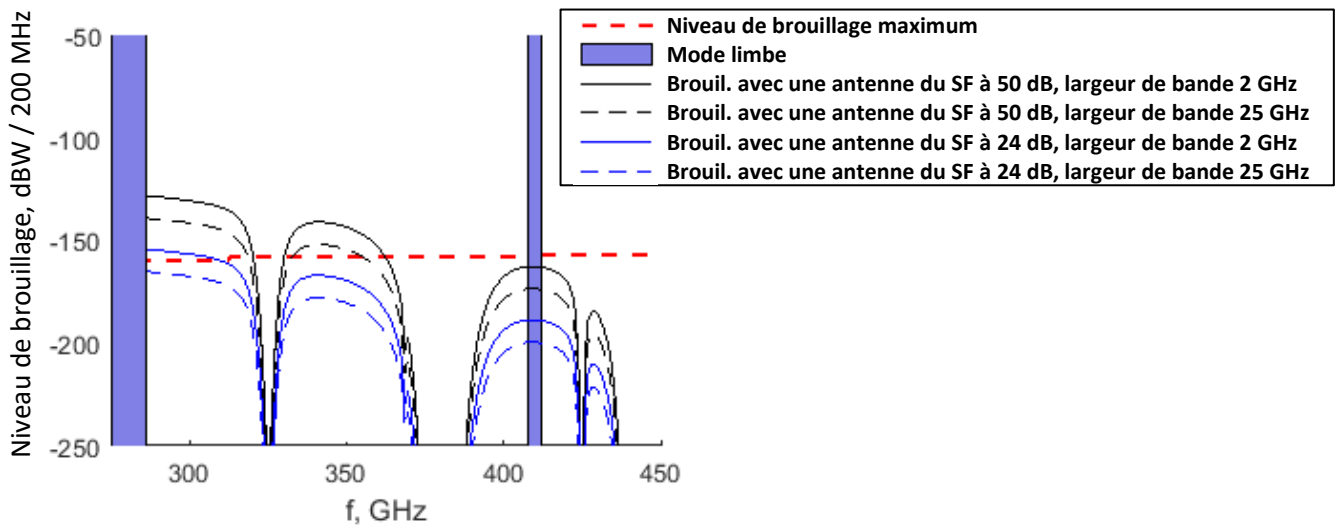


FIGURE A4-4

Brouillages entre une station du SF et un satellite du SETS fonctionnant en mode de balayage conique (scénario 2)



La Fig. A4-5 présente une analyse de brouillage entre une station du SF et un capteur conique du SETS, correspondant au scénario 3. Elle ressemble à la Fig. A4-4, avec la différence que la station du SF se trouve à un angle d'élévation de 20 degrés ($\theta_0 = 20^\circ$), c'est-à-dire que l'angle de discrimination d'antenne est de 21 degrés (selon l'équation (1)).

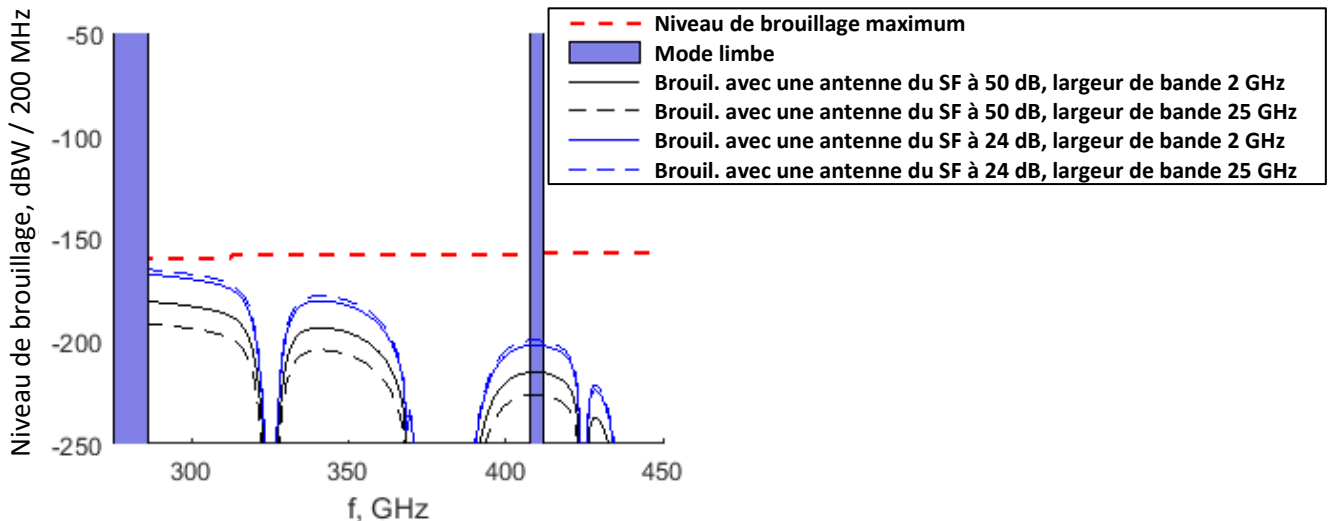
$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{(a+H) \sin \alpha}{a}\right) - \theta_0, \quad (1)$$

où:

- a : rayon de la Terre
- H : altitude du satellite du SETS
- α : angle par rapport à la direction du nadir
- θ_0 : angle d'élévation du SF.

Le gain d'antenne dans la direction du satellite est alors de 2,4 dBi pour une antenne à 50 dBi et de 10,8 dBi pour une antenne à 24 dBi selon le diagramme de rayonnement de référence figurant dans la version actuelle de la Recommandation UIT-R F.699.

FIGURE A4-5
Brouillages entre une station du SF et un satellite du SETS fonctionnant
en mode de balayage conique (scénario 3)
avec discrimination d'antenne



Les résultats du brouillage causé par une seule source dans les trois scénarios considérés permettent de tirer une conclusion préliminaire sur la possibilité de partager un certain nombre de bandes de fréquences entre le SF et le SETS (passive), compte tenu des conditions de propagation.

A4.3.2 Évaluation des brouillages cumulatif causés par le SF au SETS (passive)

Pour les brouillages cumulatifs, nous avons choisi d'effectuer les calculs dans les fréquences 399 GHz, 416 GHz et 429 GHz.

Les paramètres suivants ont été employés pour le satellite du SETS: ouverture du faisceau 0,64 degrés, gain d'antenne du satellite du SETS 60 dBi, altitude du satellite 400 km.

Les paramètres suivants ont été employés pour le système du SF: gains d'antenne de 24 et 50 dBi (selon les diagrammes de rayonnement de référence figurant dans la version actuelle de la Recommandation UIT-R F.1245), largeur de bande de 2 GHz, puissance d'émission de 20 dBm. Nous avons repris la densité du SF indiquée dans le § 5.2.1 (qui est également la densité prévue pour les IMT-2020). Nous avons considéré que les distributions de l'angle d'élévation étaient de ± 20 degrés (conformément au Tableau 7) et ± 12 degrés. La proportion de stations fonctionnant simultanément était de 100% et toutes les stations utilisaient la même fréquence.

On trouvera le résultat des calculs pour les trois fréquences et les deux distributions d'angle d'élévation (± 20 degrés et ± 12 degrés) dans la Fig. A4-6 pour une antenne du SF à 24 dBi et dans la Fig. A4-7 pour une antenne du SF à 50 dBi.

Selon la version actuelle de la Recommandation UIT-R F.1245, pour une antenne à 50 dBi le gain dans la direction orthogonale vers le maximum est de -13 dBi et pour une antenne à 24 dBi il est de -7,07 dBi.

FIGURE A4-6

Brouillages cumulatifs causés par le SF pour un gain d'antenne du SF de 24 dBi
au satellite du SETS fonctionnant en mode nadir

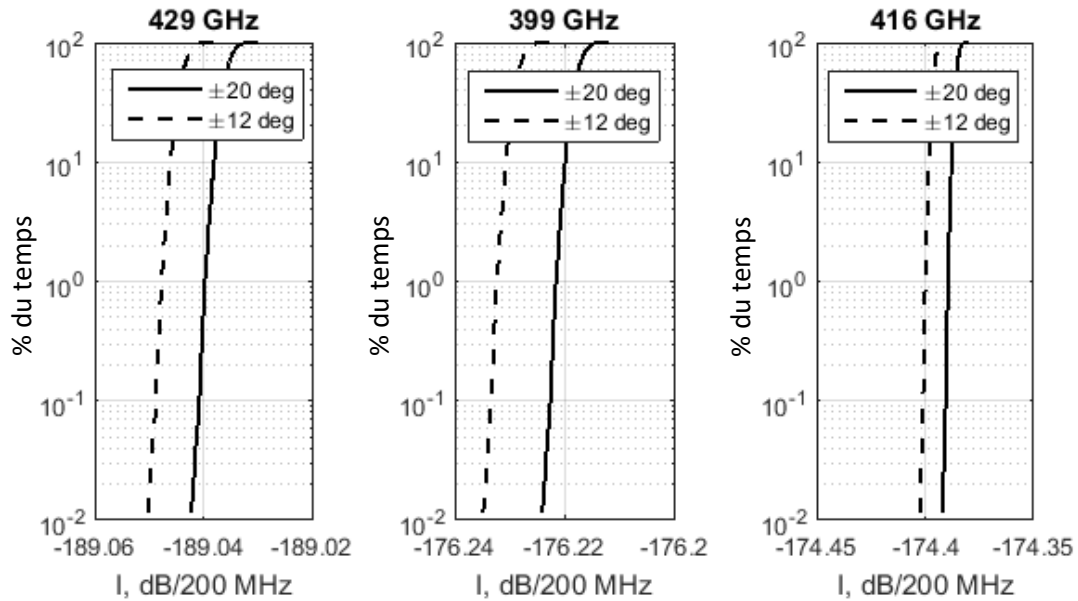
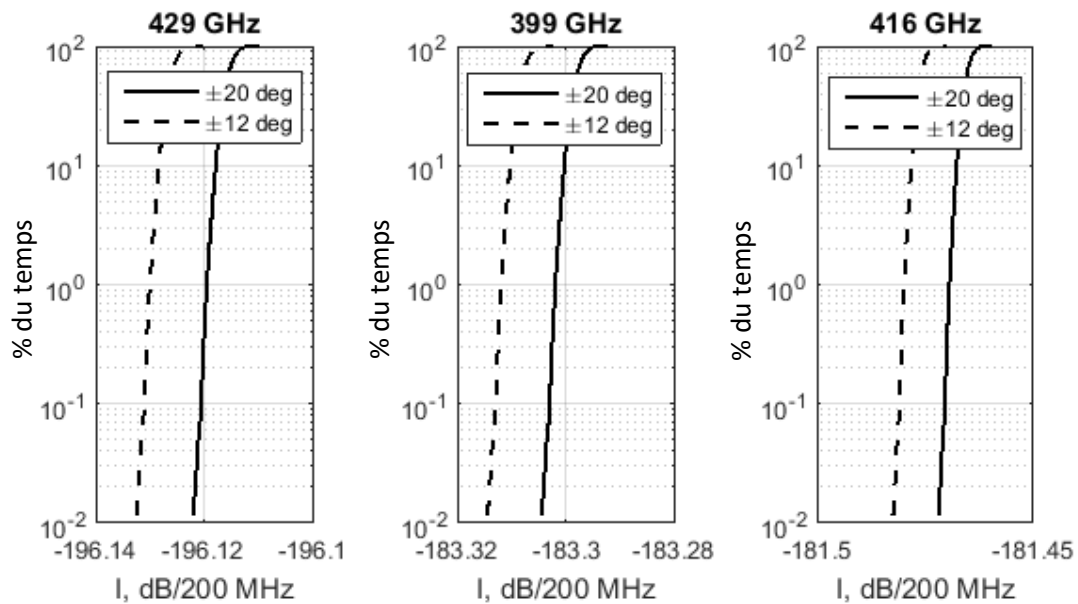


FIGURE A4-7

Brouillages cumulatifs causés par le SF pour un gain d'antenne du SF de 50 dBi
au satellite du SETS fonctionnant en mode nadir



Selon le Tableau 12 du texte principal du présent Rapport, les niveaux de brouillage maximaux à ces fréquences ont les valeurs suivantes:

- 429 GHz: -157 dBW/200 MHz,
- 399 GHz: -158 dBW/200 MHz,
- 416 GHz: -157 dBW/200 MHz.

Dès lors, pour les deux antennes du SF, le niveau de brouillage n'est pas dépassé aux fréquences choisies pour tous les pourcentages de temps.

Les bandes de fréquences dans lesquelles le partage est possible peuvent être évaluées au regard des Figs. A4-8 et A4-9, qui montrent les valeurs approximatives des niveaux de brouillages cumulatifs dans les bandes identifiées pour le SETS (passive). Ces valeurs ont été calculées de la manière suivante:

$$I_{aggr} = I_{single}(\theta_0 = 0) + 10 \lg N \quad (2)$$

où N est le nombre de stations du SF.

FIGURE A4-8

Brouillages cumulatifs approximatifs causés par le SF pour un gain d'antenne du SF de 24 dBi au satellite du SETS (passive) fonctionnant en mode nadir

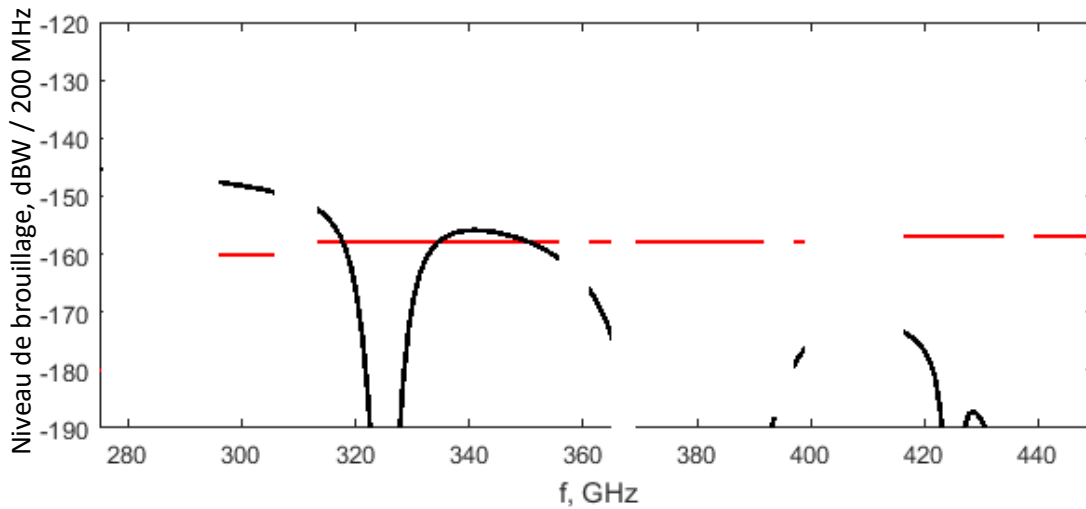
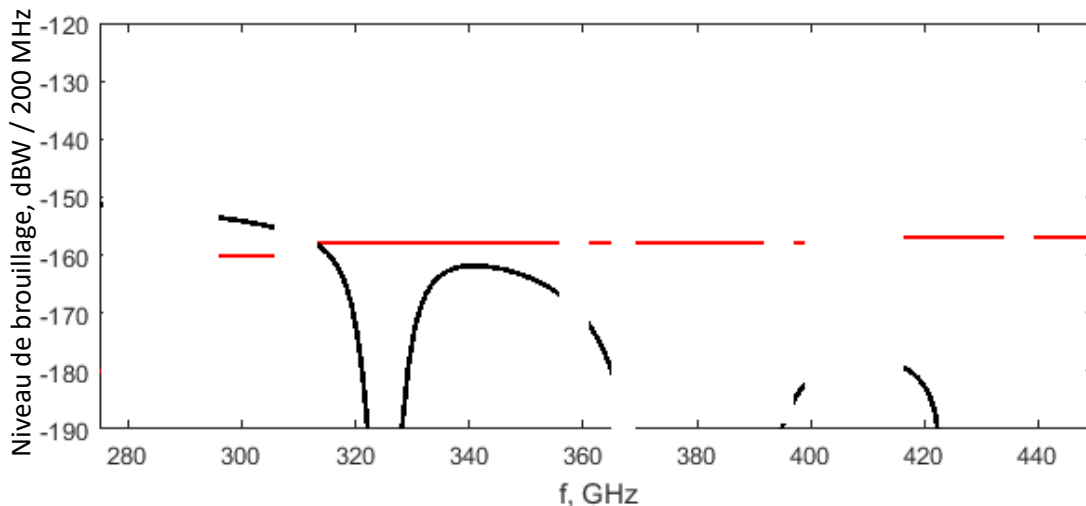


FIGURE A4-9

Brouillages cumulatifs approximatifs causés par le SF pour un gain d'antenne du SF de 50 dBi au satellite du SETS (passive) fonctionnant en mode nadir



Compte tenu des Figs. A4-8 et A4-9, le partage peut être possible dans les bandes de fréquences 275-286 GHz, 318-334 GHz, 350-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz et 439-450 GHz.

A4.3.3 Résumé

Selon les résultats de l'étude 2, le partage entre le SETS (passive) et le SF est possible dans les bandes de fréquences 275-286 GHz, 318-334 GHz, 350-356 GHz, 361-365 GHz, 369-392 GHz, 397-399 GHz, 409-411 GHz, 416-434 GHz et 439-450 GHz.

Les bandes 286-296, 356-361 GHz, 365-369 GHz, 392-397 GHz, 399-409 GHz, 411-416 GHz et 434-439 GHz n'ont pas été identifiées pour le SETS (passive) et peuvent donc être utilisées sans conditions par les applications du service mobile terrestre et du service fixe.

A4.4 Étude 3: Analyses de compatibilité entre le SETS (passive) et le SF/SMT dans la gamme de fréquences 275-450 GHz

Les analyses figurant dans la présente section concernent le brouillage que les applications du SF et du SMT fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz sont susceptibles de causer aux systèmes du SETS (passive) qui fonctionneraient également dans cette gamme de fréquences.

A4.4.1 Méthode d'analyse

La méthode adoptée aux fins de ces analyses consistait à:

- 1) Choisir les caractéristiques les plus défavorables des applications du SF et du SMT.
- 2) Définir la répartition des brouillages entre les applications décrites du SF et du SMT.
- 3) Effectuer, pour un seul champ de visibilité, une analyse de chaque type de capteur passif devant être examiné dans chaque bande de fréquences du SETS (passive) identifiée au numéro **5.565** du RR. L'analyse consiste à déterminer la densité de déploiement des dispositifs liés aux applications du SF et du SMT à partir de laquelle le seuil de protection contre les brouillages défini dans la Recommandation UIT-R RS.2017 serait dépassé.
- 4) Examiner les densités de déploiement ainsi définies pour déterminer leur faisabilité.
- 5) Affiner les études selon les besoins en se fondant sur ces résultats.

Sondeurs de limbe

Les sondeurs de limbe ne pointent pas vers la Terre; ils ont une orientation tangentielle à travers l'atmosphère. La géométrie la plus défavorable en termes de brouillages pour un sondeur de limbe se produit donc lorsque le brouilleur se trouve au nadir du capteur. Dès lors, l'analyse s'est fondée sur des émetteurs du SF et du SMT situés au nadir du capteur, la densité des dispositifs étant augmentée uniformément par itérations pour étudier la sensibilité à cette densité.

Capteurs à balayage conique et nadir

La méthode employée pour les capteurs à balayage conique et nadir est analogue à celle qui a été choisie pour les analyses des sondeurs de limbe. Un capteur à balayage conique a un angle fixe par rapport au nadir, et par conséquent un trajet oblique fixe par rapport au champ de vision instantané. Pour l'analyse des capteurs à balayage conique, les brouilleurs du SF/SMT ont donc été déployés dans ce champ de vision instantané. Un capteur à balayage nadir a un angle variable par rapport au nadir, mais la géométrie la plus défavorable intervient lorsque le faisceau se trouve au nadir du capteur. Les brouilleurs ont donc été déployés dans le champ de vision instantané se trouvant au nadir du capteur. Le brouillage subi par le capteur à balayage conique ou matriciel peut être dominé par un seul émetteur du SF lorsque le faisceau principal du capteur est aligné avec celui de l'émetteur. Cette situation de brouillage est décrite dans le § A4-2 dans le contexte de capteurs à balayage conique, mais elle s'applique également aux capteurs à balayage matriciel. Les analyses ont donc visé à déterminer le niveau de densité de déploiement des émetteurs du SF auquel le seuil de données disponibles défini dans la Recommandation UIT-R RS.2017 est franchi.

Nous avons considéré que l'élévation de l'antenne pointant vers l'antenne du SF variait de manière uniforme dans la gamme d'élévation de l'antenne définie. L'angle d'incidence du faisceau du capteur à balayage conique est indiqué dans le Tableau A4-3 pour les bandes concernées. L'angle d'incidence du faisceau du capteur à balayage matriciel peut varier de 18 à 60 degrés environ. Comme nous avons aussi considéré que l'angle d'élévation de l'antenne d'une application du SF variait uniformément entre 0 et 67 degrés dans le cas le plus défavorable, la probabilité d'un alignement entre les faisceaux principaux de l'antenne du SF et l'antenne du capteur à balayage matriciel est identique pour tout angle d'incidence de l'antenne du capteur; dès lors, aux fins des analyses de la présente section, nous avons choisi un angle d'incidence de 60 degrés pour le capteur à balayage matriciel. Il convient toutefois de souligner que les administrations pourraient imposer une réglementation limitant les angles d'élévation des sources du SF dans les bandes où les angles d'élévations importants ne sont pas compatibles avec l'utilisation du SETS (passive).

Le déploiement à l'intérieur de la zone d'empreinte d'un seul capteur a été simulé selon la méthode de Monte Carlo en augmentant les densités de déploiement jusqu'au point où le résultat indiquait un dépassement du seuil de disponibilité des données défini dans la Recommandation UIT-R RS.2017. Cette densité de déploiement supérieure au seuil doit ensuite être examinée pour déterminer si elle est réaliste. Si tel est le cas, il peut être nécessaire de réétudier le déploiement d'applications du SF.

Pour examiner les effets des brouillages causés par des applications du SMT aux capteurs à balayage conique et matriciel, nous avons augmenté la densité de déploiement des émetteurs du SMT dans l'empreinte d'un seul capteur jusqu'au point où le seuil de brouillage défini dans la Recommandation UIT-R RS.2017 a été dépassé. Cette densité de déploiement supérieure au seuil doit ensuite être examinée pour déterminer si elle est réaliste. Si tel est le cas, il peut être nécessaire de réétudier le déploiement d'applications du SMT. Il n'est pas nécessaire d'effectuer des simulations de Monte Carlo à l'égard du déploiement des applications du SMT car l'antenne du SMT a une grande largeur de faisceau.

A4.4.2 Caractéristiques des systèmes du SETS (passive)

Les capteurs du SETS (passive) qui doivent être employés dans les études de partage des bandes de fréquences identifiées pour le SETS (passive) au numéro **5.565** du RR sont définis dans le Tableau 12 du texte principal du présent Rapport. Les caractéristiques de ces capteurs sont indiquées dans le Tableau 13 du même texte. On trouvera un résumé de ces caractéristiques dans le Tableau A4-4 ci-dessous.

Nous nous sommes appuyés sur la Recommandation UIT-R RS.1813 (Diagramme d'antenne de référence pour les détecteurs passifs fonctionnant dans le service d'exploration de la Terre par satellite (passive) à utiliser dans les analyses de compatibilité, pour les fréquences comprises entre 1,4 et 100 GHz) pour déduire les paramètres d'antenne des capteurs du SETS (passive) dans la gamme de fréquences 275-450 GHz lorsque ces paramètres sont nécessaires pour effectuer les analyses requises.

TABLEAU A4-4

Caractéristiques du SETS (passive) pour les bandes de fréquences identifiées au numéro 5.565 du RR

Paramètres	Bande de fréquences (GHz)																	
	275-286	296-306		313-356			361-365		369-392		397-399		409-411	416-434		439-467		
Paramètres	Limbe ²	Limbe ³	Conique ⁴	Limbe ⁵	Nadir ⁶	Conique ⁷	Limbe ⁸	Conique ^{9,10}	Limbe ¹¹	Matriciel ^{12,13}	Limbe ¹⁴	Conique ^{15,16}	Limbe ¹⁷	Limbe ¹⁸	Matriciel ^{19,20}	Limbe ²¹	Nadir ⁶	Conique ²²
Altitude (km)	817	817	817	817	817	817	817	817	817	35 684	817	817	817	817	35 684	817	–	817
Angle par rapport au nadir	–	–	45°	–	0°	45°	–	45°	–	–	–	45°	–	–	–	–	0°	45°
Angle d'incidence du faisceau	–	–	–	–	–	–	–	–	–	~18°–60°	–	–	–	–	~18°–60°	–	–	–
Altitude minimum de pointage (km)	6	3	–	3	–	–	6	–	6	–	6	–	6	6	–	6	–	–
Fréquence centrale (GHz)	280,5	299,75	301	320,0	–	325,15	363,0	363,0	370,5	380,197	398,0	398,0	410,0	425,0	424,76	453,0	–	448,0
Largeur de bande	11,0	11,5	5	9,0	3	3	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0	3,0	2,0	12,0	1,0	12,0	3	3
Gain de crête de l'antenne	70	80 ²³	55	80 ²³	55	55	70	55	70	(3m dia.)	70	55	70	70	(3m dia.)	70	55	55
Champ de vision (km)	h = 5 v = 2,5	2,3×4,6	~200 km ²	2,3 × 4,6	~30 km ²	~200 km ²	h = 5 v = 2,5	~200 km ²	h = 5 v = 2,5	12 km ²	h = 5 v = 2,5	~200 km ²	h = 5 v = 2,5	h = 5 v = 2,5	10 km ²	h = 5 v = 2,5	~30 km ²	~200 km ²

² Déduit des caractéristiques du STEAMR

³ MASTER

⁴ Déduit des caractéristiques de l'ICI

⁵ MASTER

⁶ Déduit de l'étude 5 du présent Rapport

⁷ ICI

⁸ Déduit des caractéristiques du STEAMR

⁹ Désigné comme capteur nadir dans le Tableau 12. Toutefois, le capteur cité en référence est à balayage conique.

¹⁰ Déduit de l'ICI

¹¹ Déduit des caractéristiques du STEAMR

¹² Désigné comme capteur nadir. Toutefois, le capteur cité en référence est à balayage matriciel GEO.

¹³ Déduit des caractéristiques du GOMAS

¹⁴ Déduit des caractéristiques du STEAMR

¹⁵ Désigné comme capteur nadir dans le Tableau 12. Toutefois, le capteur cité en référence est à balayage conique.

¹⁶ Déduit de l'ICI

¹⁷ Déduit des caractéristiques du STEAMR

¹⁸ Déduit des caractéristiques du STEAMR

¹⁹ Désigné comme capteur nadir. Toutefois, le capteur cité en référence est à balayage matriciel GEO.

²⁰ Déduit des caractéristiques du GOMAS

²¹ Déduit des caractéristiques du STEAMR

²² ICI

²⁴ Extrapolé à partir du gain d'antenne et du champ de vision du STEAMR

A4.4.2.1 Critères de protection du SETS (passive) contre le brouillage

Le Tableau A4-5 indique les seuils de brouillage et de disponibilité des données à employer dans les évaluations de compatibilité entre les applications du SF et du SMT proposées et le SETS (passive) dans la gamme de fréquences 275-450 GHz. Pour les capteurs à balayage matriciel du SETS (passive), nous avons employé les seuils correspondant aux capteurs nadir et à balayage conique car le fonctionnement des capteurs à balayage matriciel et les données produites par ceux-ci sont comparables à ceux de ces capteurs.

TABLEAU A4-5

Extrait de la Recommandation UIT-R RS.2017 indiquant les critères de brouillage pour la télédétection passive par satellite dans la gamme de fréquences 275-450 GHz

Bande(s) de fréquences (GHz)	Largeur de bande de référence (MHz)	Niveau maximal de brouillage (dBW)	Pourcentage de la zone ou du temps pour lesquels le niveau de brouillage admissible peut être dépassé ⁽¹⁾ (%)	Mode de balayage (N, C, L) ⁽²⁾
275-285,4	3	-194	1	L
296-306	200/3 ⁽³⁾	-160/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
313,5-355,6	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L
361,2-365	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
369,2-391,2	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
397,2-399,2	200/3 ⁽³⁾	-158/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
409-411	3	-194	1	L
416-433,46	200/3 ⁽³⁾	-157/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, L
439,1-466,3	200/3 ⁽³⁾	-157/-194 ⁽³⁾	0,01/1 ⁽³⁾	N, C, L

⁽¹⁾ Pour un niveau de 0,01%, la zone de mesure est un carré de 2 000 000 km² à la surface de la Terre, sauf spécification contraire justifiée; pour un niveau de 0,1%, la zone de mesure est un carré de 10 000 000 km² à la surface de la Terre, sauf spécification contraire justifiée; pour un niveau de 1%, le temps de mesure est de 24 h, sauf spécification contraire justifiée.

⁽²⁾ N: Nadir. L: Limbe, C: Conique.

⁽³⁾ Première valeur pour les modes «Nadir» ou «Conique» et deuxième valeur pour les applications de sondage hyperfréquences de type «Limbe».

A4.4.2.2 Zone de mesure

La zone de mesure à appliquer pour déterminer le brouillage causé aux capteurs fonctionnant dans la gamme de fréquences 275-450 GHz doit être évaluée pour pouvoir prendre en compte la taille du champ de vision instantané (IFOV) du capteur du SETS. Cette évaluation est effectuée pour tenir compte de l'expression «sauf spécification contraire justifiée» figurant dans la Note 1 du Tableau 1 de la Recommandation UIT-R RS.2017.

A4.4.3 Caractéristiques des applications du SF et du SMT

On trouvera dans le Tableau A4-6 un résumé des caractéristiques des applications du SF et du SMT employées dans les analyses de la présente section. Pour toutes ces analyses, nous avons considéré que les fréquences utilisées par le SF et le SMT et celles des capteurs du SETS se chevauchaient à 100%.

TABLEAU A4-6
Résumé des caractéristiques des applications du SF et du SMT
(275-450 GHz)

	Application améliorée du CPMS (dispositif fixe)	Communications intradispositif	Liaisons hertziennes dans les centres de données	Liaisons point à point (vers l'avant/vers l'arrière)	
				275-325 GHz	380-445 GHz
p.i.r.e. d'émission maximale (dBm/GHz)	40	36,7	40	67	57
Ouverture du faisceau de l'antenne (degrés)	90	180	Moins de 25	–	
Élévation de l'antenne (degrés)	90	0	45	0-65	
Plage du gain d'antenne (dBi)	30	Jusqu'à 20	Jusqu'à 30	24-50	
Diamètre de l'antenne	[À déterminer]	[À déterminer] ⁽¹⁾	[À déterminer]	[À déterminer]	
Diagramme d'antenne	Gaussien	Gaussien	Gaussien	Rec. UIT-R F.699-7 (une seule source) Rec. UIT-R F.1245-2 (cumulatif)	
Affaiblissement dû aux bâtiments (le cas échéant)	–	–	[À déterminer]*	–	
Chevauchement de la largeur de bande avec les capteurs du SETS (%)	100	100	100	100 ⁽²⁾	

⁽¹⁾ Le diamètre de l'antenne est fondé sur un gain courant de 6 dBi.

⁽²⁾ L'application de liaison point à point (vers l'avant / vers l'arrière) fonctionne dans les gammes de fréquences 275-325 GHz et 380-445 GHz. Au sein de ces gammes, l'application du SF va fonctionner dans une partie de la gamme 313-365 GHz et dans la gamme 369-392 GHz, qui sont toutes deux identifiées pour le SETS (passive) au numéro 5.565 du RR. Cependant, la gamme de fréquences indiquée pour l'application du SF ne va pas recouvrir à 100% celle qui a été identifiée pour les capteurs du SETS (passive), qui sont des capteurs représentatifs dans ces gammes de fréquences. Aux fins des analyses présentées dans le § 3, la fréquence centrale des capteurs du SETS (passive) fonctionnant dans les gammes 313-365 GHz et 369-392 GHz a été modifiée de telle sorte que le chevauchement des fréquences avec celle de l'application du SF soit de 100% dans les cas où un chevauchement de 100% n'a pas été explicitement indiqué. Cette méthode permet de tenir compte, dans les résultats de l'étude, du cas de figure dans lequel les capteurs du SETS (passive) fonctionneraient à une fréquence centrale différente au sein de ces deux gammes de fréquences.

* Note du Secrétariat: L'expression [À déterminer] indique qu'aucune valeur n'a été fournie pour ces éléments au moment de l'élaboration du Rapport UIT-R SM.2450-0, qui a été approuvé étant entendu que ces valeurs peuvent être déterminées à partir d'autres éléments fournis dans le Tableau ou qu'elles pourront être fournies dans une version future du Rapport, le cas échéant.

A4.4.3.1 Application améliorée du système mobile dans l'environnement proche (dispositif fixe)

L'application du système mobile dans l'environnement proche (CPMS) décrite dans le § 5.1.1 comporte deux sous-systèmes: une application classique et une application améliorée. Aux fins des analyses présentées dans le § 3, seul le dispositif fixe de l'application améliorée du CPMS a été pris en compte pour les raisons suivantes:

- 1) Ce dispositif est conçu pour fonctionner dans l'ensemble de la gamme de fréquences 275-450 GHz.
- 2) Il fonctionne à la même puissance que l'application CPMS.
- 3) On considère que le dispositif fixe fonctionne en même temps que le dispositif mobile et qu'il émet à une p.i.r.e. supérieure de 15 dB à celle du dispositif mobile. Dès lors, la part de brouillage causée par le dispositif mobile est jugée négligeable dans le total des brouillages causés par cette application.

A4.4.3.2 Communications intradispositif

L'application assurant les communications intradispositif est décrite de manière plus détaillée dans le § 5.1.2. Bien qu'en général cette application soit décrite comme un système protégé, rien n'indique que tel soit réellement le cas dans la pratique, ni dans quelles circonstances cette protection a pu être mise en place. De plus, nous ne disposons actuellement d'aucune information sur le degré d'affaiblissement que la protection pourrait provoquer. Par ailleurs, selon la description de l'application fournie dans le § 5.1.2, 50% de ces dispositifs devraient être déployés à l'extérieur des bâtiments. C'est pourquoi il nous a semblé nécessaire d'évaluer le brouillage potentiel découlant d'un déploiement de ces dispositifs en extérieur, en partant de l'hypothèse qu'aucune protection n'avait été prévue dans la fabrication du système de communication intradispositif. L'ouverture de faisceau de l'antenne de l'application intradispositif est indiquée à 180°. En revanche, la description de l'application fournie dans le § 5.1.2 ne contient aucune information sur le pointage de l'antenne; dès lors, aux fins des analyses dans le § A4.3, nous avons considéré que l'angle d'élévation de l'antenne de l'application intradispositif était de 0°.

A4.4.3.3 Liaisons hertziennes dans les centres de données

Les liaisons hertziennes dans les centres de données sont décrites dans le § 5.1.3. À noter que cette application est conçue pour fonctionner exclusivement à l'intérieur des bâtiments; il est donc nécessaire de prendre en compte l'affaiblissement dû aux bâtiments pour analyser les brouillages susceptibles d'être causés par son déploiement. Or cette information n'est pas fournie dans la Recommandation UIT-R P.2109 pour la gamme de fréquences concernée. Néanmoins, les spécialistes de la propagation à l'UIT-R conseillent de l'extrapoler à partir des valeurs indiquées dans la Recommandation UIT-R P.2109.

A4.4.3.4 Liaisons point à point (vers l'avant/vers l'arrière)

L'application de liaisons point à point (vers l'avant/vers l'arrière) est décrite dans le § 5.2.1, dans lequel il est précisé que l'angle d'élévation de l'antenne est au maximum de 20° compte tenu des variations topographiques de la ville de Tokyo au Japon. Pour évaluer l'effet d'un déploiement mondial de cette application, nous avons choisi un angle d'élévation maximum de l'antenne de 65°. Soulignons à cet égard que dans le Rapport UIT-R F.2239, qui traite du SF dans les bandes 76-86 et 92-95 GHz, les angles d'élévation du SF vont jusqu'à 65°.

A4.4.4 Résultat des simulations

On trouvera ci-après le résultat des analyses des brouillages causés au système du SETS par différents types d'applications du SF et du SMT ayant été proposées au titre du point 1.15 de l'ordre du jour de la CMR-19.

A4.4.4.1 Analyse des brouillages causés par l'application améliorée du CPMS (dispositif fixe)

Aux fins de cette analyse, la zone de mesure du satellite du SETS a été définie comme le champ de vision instantané (IFOV) du capteur simulé. À l'intérieur de l'IFOV du capteur du SETS, des dispositifs du CPMS ont été déployés de manière aléatoire et la densité de ces dispositifs a été augmentée à l'aide des paramètres, en commençant par la densité de déploiement indiquée dans le Tableau 1. Il est important de noter que la présente analyse n'indique pas le pourcentage de temps pendant lequel le critère de protection a été dépassé.

Les caractéristiques de l'application améliorée du CPMS et du SETS employées dans la présente étude sont indiquées dans les Tableaux A4-4 et A4-6 ci-dessus. Dans la présente analyse, l'angle par rapport à l'azimut des dispositifs de l'application améliorée du CPMS a été distribué de manière uniforme de 0 à 360°. Cependant, il convient de noter que l'ouverture du faisceau de l'antenne de l'application améliorée du CPMS est indiquée à 90° et que l'élévation est indiquée à $\pm 90^\circ$. Aux fins de la présente analyse, on considère que l'angle d'élévation de chaque dispositif du CPMS amélioré correspond à l'angle d'incidence sur Terre du faisceau du capteur, ce qui constitue le scénario le plus défavorable (par exemple 90° pour des capteurs à balayage nadir et 37° pour des capteurs à balayage conique avec un angle par rapport au nadir de 45°). Cette hypothèse sera réexaminée si les premiers résultats ne montrent pas que l'application améliorée du CPMS est compatible avec le fonctionnement des capteurs du SETS (passive).

FIGURE A4-10

Brouillages causés par des dispositifs du CPMS à un capteur du SETS à balayage conique

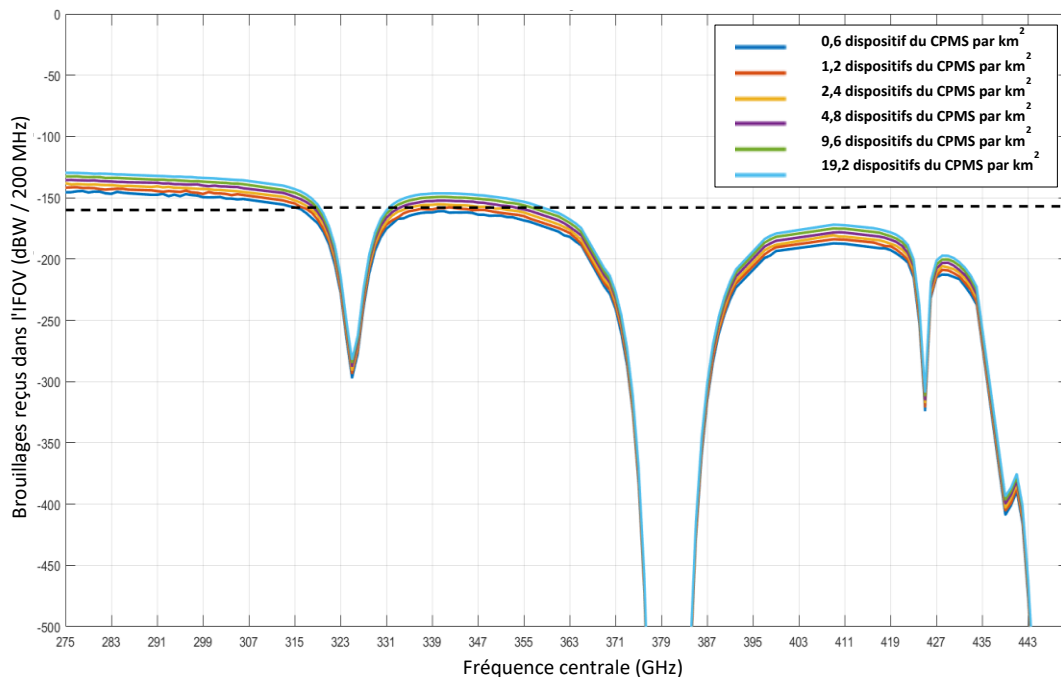


FIGURE A4-11

Brouillages causés par des dispositifs du CPMS à un capteur du SETS à balayage nadir

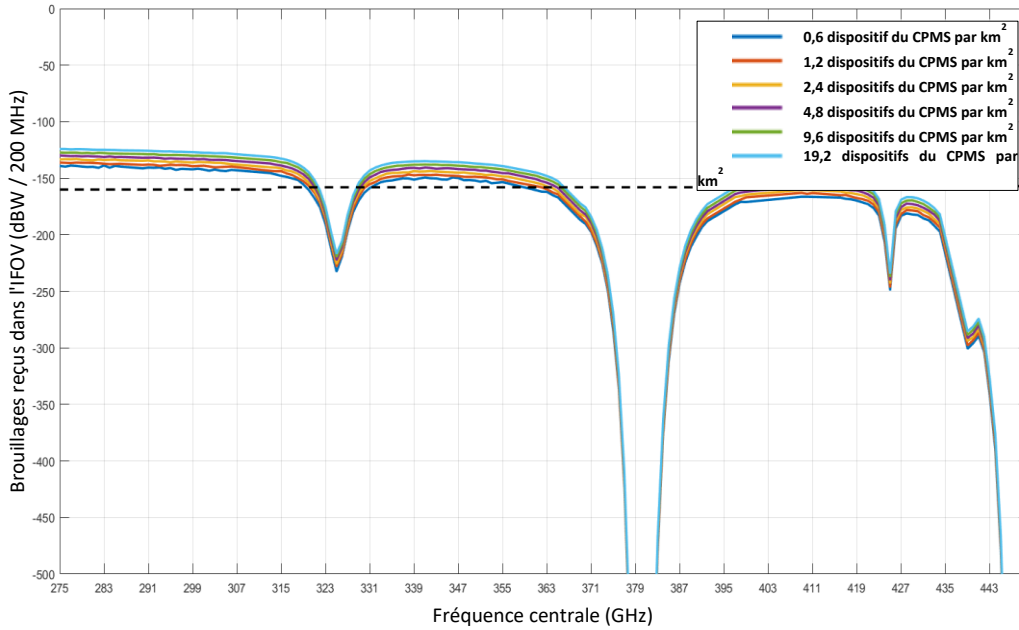
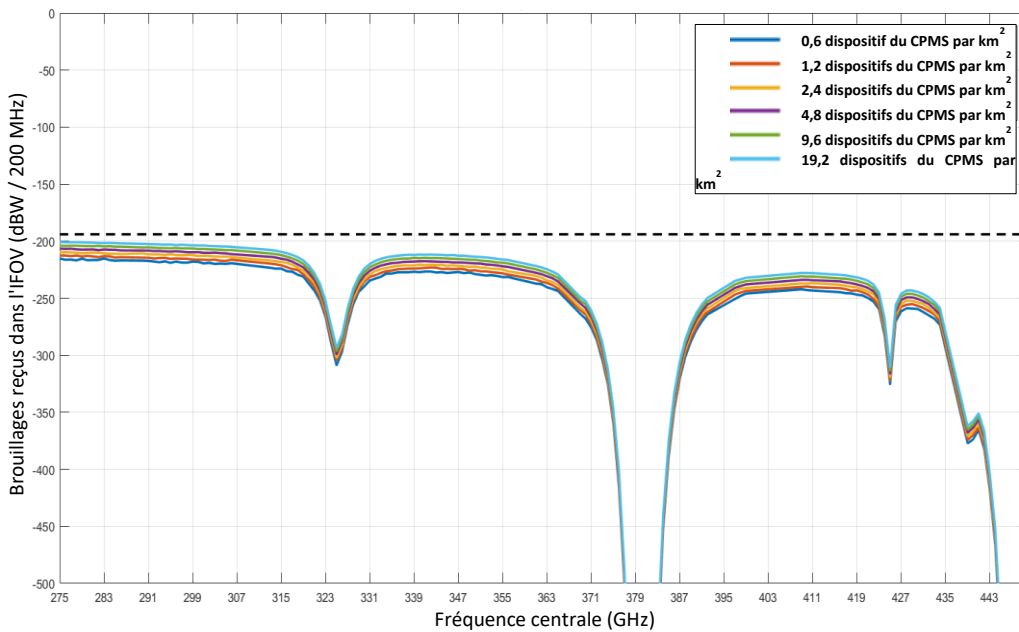


FIGURE A4-12

Brouillages causés par des dispositifs du CPMS à un capteur du SETS à sondeur de limbe



Ces résultats montrent qu'il peut y avoir une incompatibilité entre des dispositifs du CPMS et le SETS (passive) dans certaines bandes identifiées pour ce dernier. Nous avons donc effectué une analyse supplémentaire en réexaminant le pointage des dispositifs de l'application améliorée du CPMS. Dans l'analyse suivante, l'azimut des dispositifs de l'application améliorée du CPMS a été distribué de manière aléatoire de 0 à 360° et les angles d'élévation ont été distribués de manière aléatoire de 0 à 90°.

FIGURE A4-13

Brouillages causés par des dispositifs du CPMS à un capteur du SETS à balayage conique

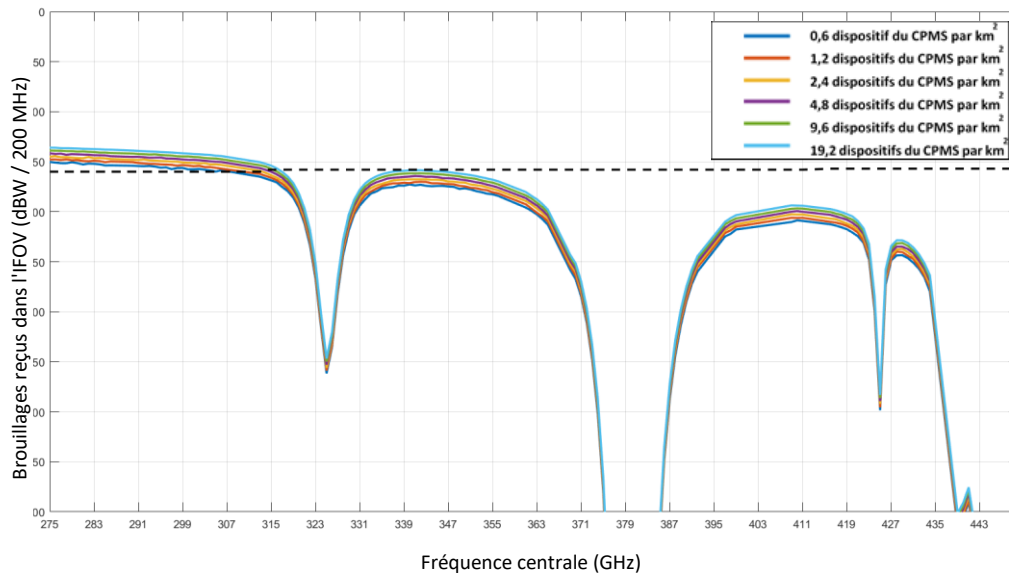


FIGURE A4-14

Brouillages causés par des dispositifs du CPMS à un capteur du SETS à balayage nadir

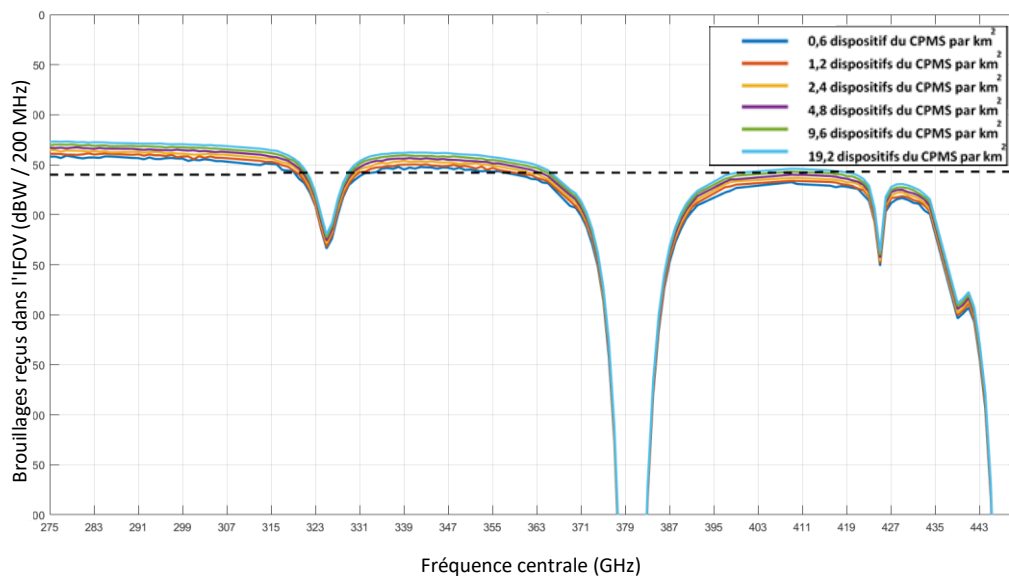
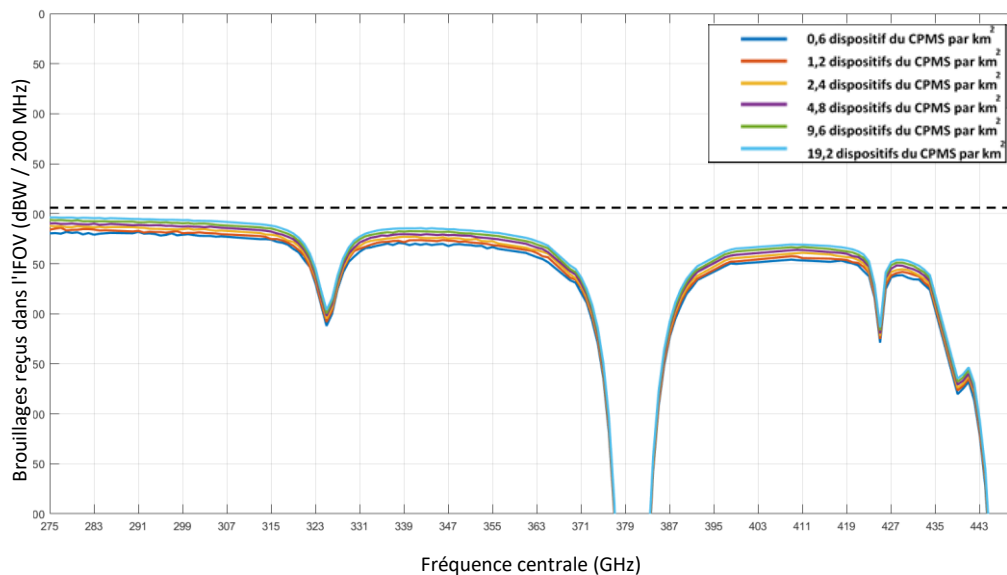


FIGURE A4-15

Brouillages causés par des dispositifs du CPMS à un capteur du SETS à sondeur de limbe

Cette analyse montre que les bandes suivantes ne peuvent pas être utilisées par des applications du SMT sans contraintes particulières:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 330-356 GHz

A4.4.4.2 Analyse des brouillages causés par les communications intradispositif

Aux fins de cette analyse, la zone de mesure du satellite du SETS a été définie comme le champ de vision instantané (IFOV) du capteur simulé. À l'intérieur de l'IFOV du capteur du SETS, des liaisons de communication intradispositif ont été déployées de manière aléatoire et la densité de ces liaisons a été augmentée à l'aide des paramètres, en commençant par la densité de déploiement indiquée dans le Tableau 1.

Les caractéristiques des liaisons intradispositif et du SETS employées dans la présente étude sont indiquées dans les Tableaux A4-6 et A4-4 ci-dessus. À noter que l'ouverture de faisceau de l'antenne des liaisons intradispositif est indiquée à 180° et que l'angle d'élévation est indiqué à 0°. Aux fins de la présente analyse, les angles d'élévation des liaisons intradispositif ont été fixés par hypothèse à 0° et les angles d'azimut ont été distribués de manière aléatoire de 0 à 360°.

FIGURE A4-16

Brouillages causés par des liaisons intradispositif à un capteur du SETS à balayage conique

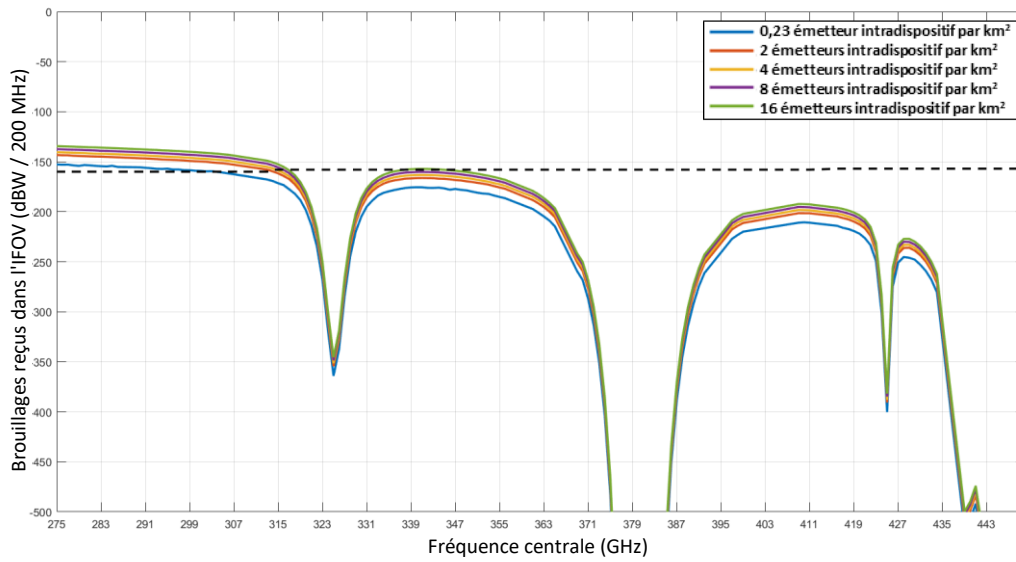


FIGURE A4-17

Brouillages causés par des liaisons intradispositif à un capteur du SETS à balayage nadir

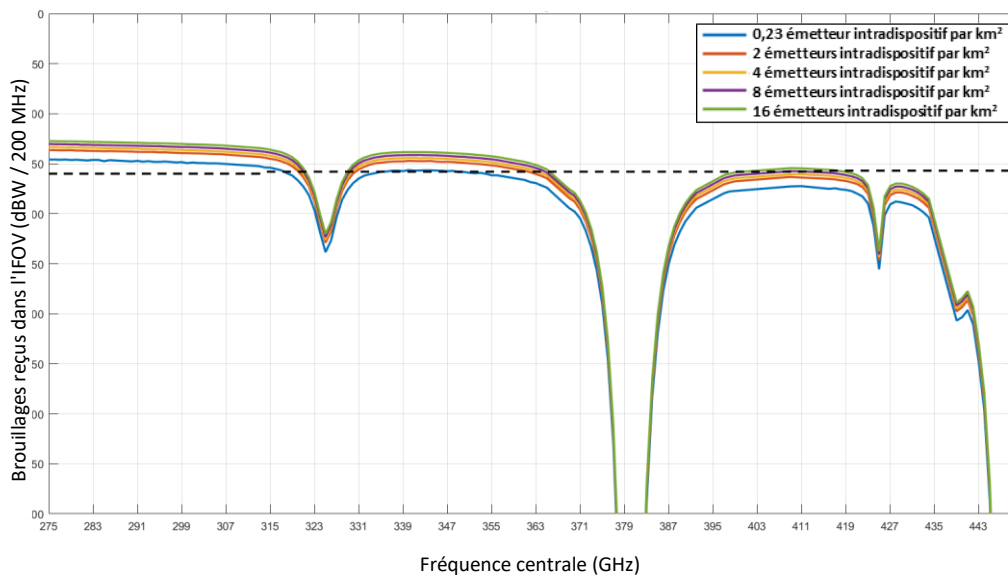
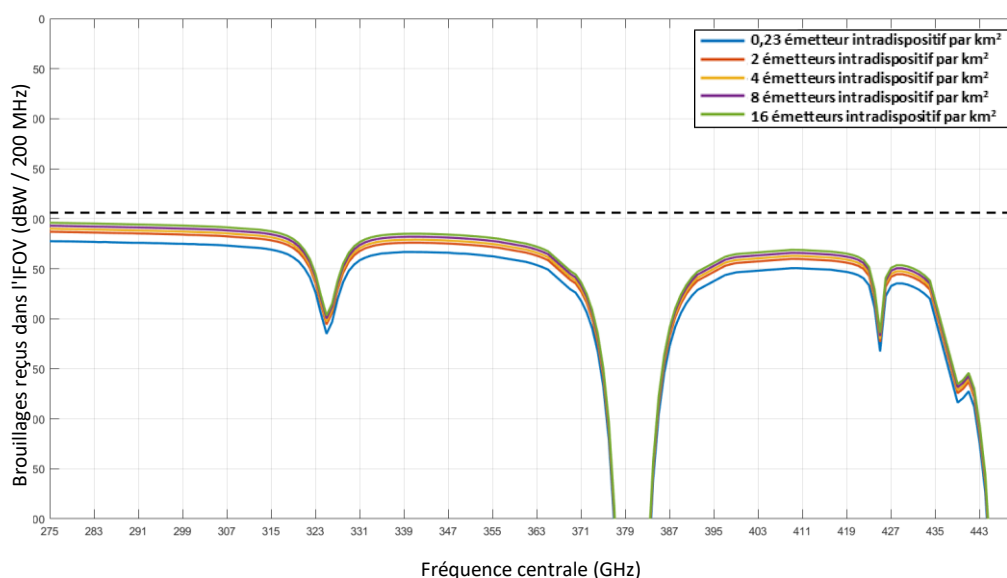


FIGURE A4-18

Brouillages causés par des liaisons intradispositif à un capteur du SETS à sondeur de limbe

Cette analyse montre que les bandes suivantes ne peuvent pas être utilisées par des applications du SMT si l'on ne dispose pas d'informations plus précises sur l'affaiblissement réel dû aux bâtiments et sur les valeurs de protection:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 330-356 GHz

A4.4.4.3 Analyse des brouillages causés par les liaisons hertziennes du centre de données

Aux fins de cette analyse, la zone de mesure du satellite du SETS a été définie comme le champ de vision instantané (IFOV) du capteur simulé. À l'intérieur de l'IFOV du capteur du SETS, des liaisons du centre de données ont été déployées de manière aléatoire et la densité de ces liaisons a été augmentée à l'aide des paramètres, en commençant par la densité de déploiement indiquée dans le Tableau 1.

Les caractéristiques des liaisons du centre de données et du SETS employées dans la présente étude sont indiquées dans les Tableaux A4-6 et A4-4 ci-dessus. Dans la présente analyse, nous avons considéré que les angles d'élévation des liaisons du centre de données étaient distribués de manière aléatoire de 30 à 45° et que les angles d'azimut étaient distribués de manière aléatoire de 0 à 360°.

FIGURE A4-19

Brouillages causés par des liaisons du centre de données à un capteur du SETS à balayage conique

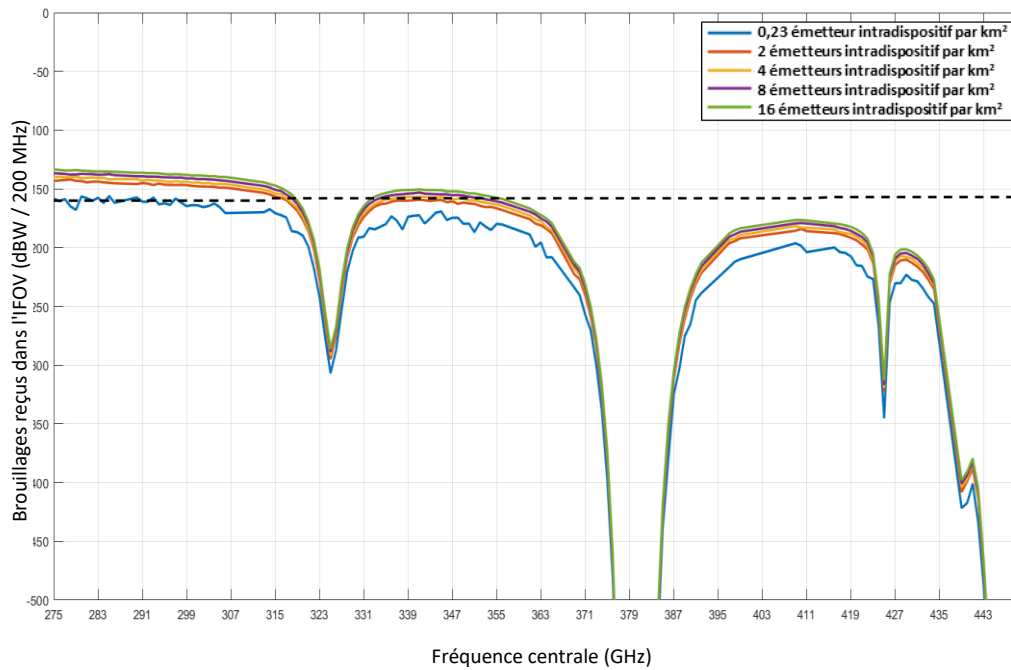


FIGURE A4-20

Brouillages causés par des liaisons du centre de données à un capteur du SETS à balayage nadir

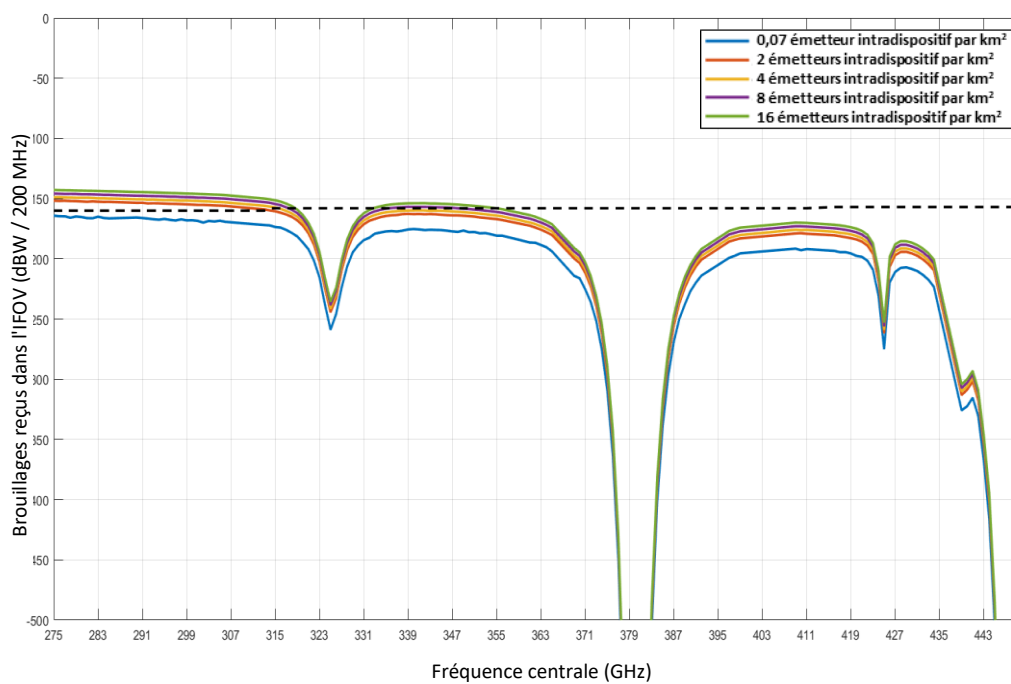
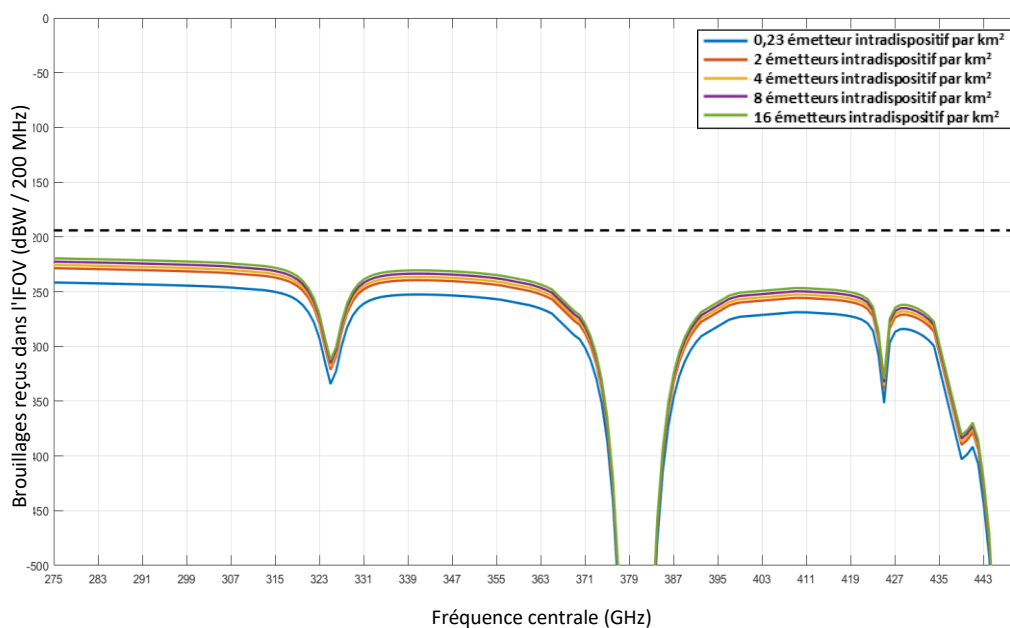


FIGURE A4-21

Brouillages causés par des liaisons du centre de données à un capteur du SETS à sondeur de limbe

Cette analyse montre que les bandes suivantes ne peuvent pas être utilisées par des applications du SMT si l'on ne dispose pas d'informations plus précises sur l'affaiblissement réel dû aux bâtiments et sur les valeurs de protection:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 330-356 GHz

Il convient de noter que la bande supérieure de 330-356 GHz était incompatible, en l'absence de toute restriction réglementaire, lorsque la densité atteignait quatre liaisons par km². Bien que la densité de déploiement minimale annoncée par le groupe de travail spécialiste de ce domaine soit de 0,7 liaisons par km², une densité de quatre liaisons par km² ne semble pas réaliste.

A4.4.4.4 Analyse des brouillages causés par des liaisons de raccordement point à point vers l'avant et vers l'arrière

Aux fins de cette analyse, la zone de mesure du satellite du SETS a été définie comme le champ de vision instantané (IFOV) du capteur simulé. À l'intérieur de l'IFOV du capteur du SETS, des liaisons du SF ont été déployées de manière aléatoire et la densité de ces liaisons a été augmentée à l'aide des paramètres, en commençant par la densité de déploiement indiquée dans le § 5.2.1 ci-dessus. Il est important de noter que la présente analyse n'indique pas le pourcentage de temps pendant lequel le critère de protection a été dépassé.

Les caractéristiques du SF et du SETS employées dans la présente étude sont indiquées dans les Tableaux A4-6 et A4-4 ci-dessus. Dans la présente analyse, nous avons considéré que les angles d'élévation des stations du SF étaient distribués de manière aléatoire de -20° à +20° et que les angles d'azimut étaient distribués de manière aléatoire de 0 à 360°.

FIGURE A4-22

Brouillages causés par des liaisons du SF à un capteur du SETS à balayage conique

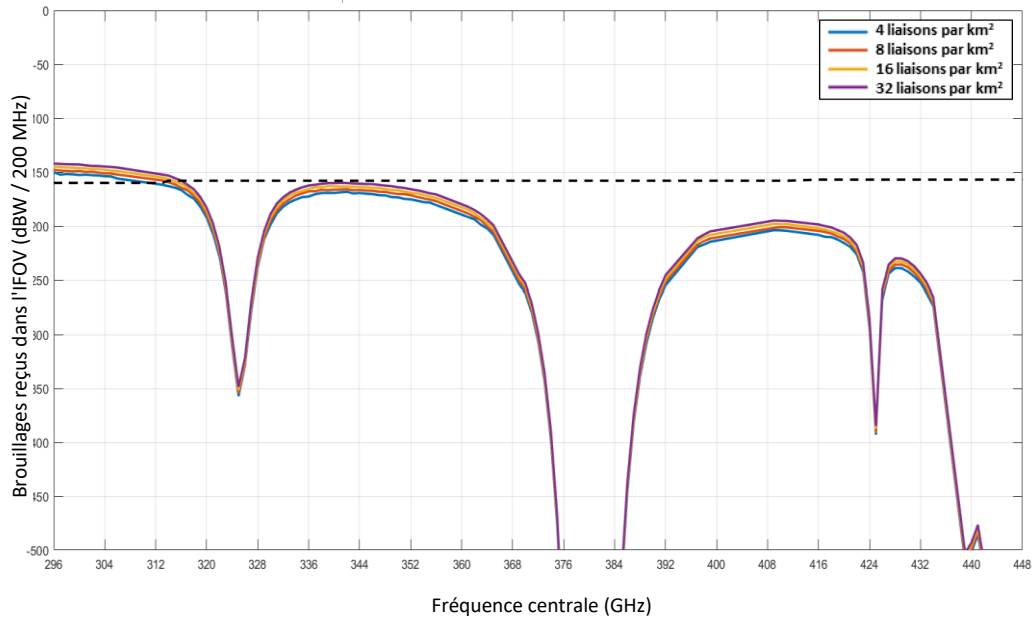


FIGURE A4-23

Brouillages causés par des liaisons du SF à un capteur du SETS à balayage nadir

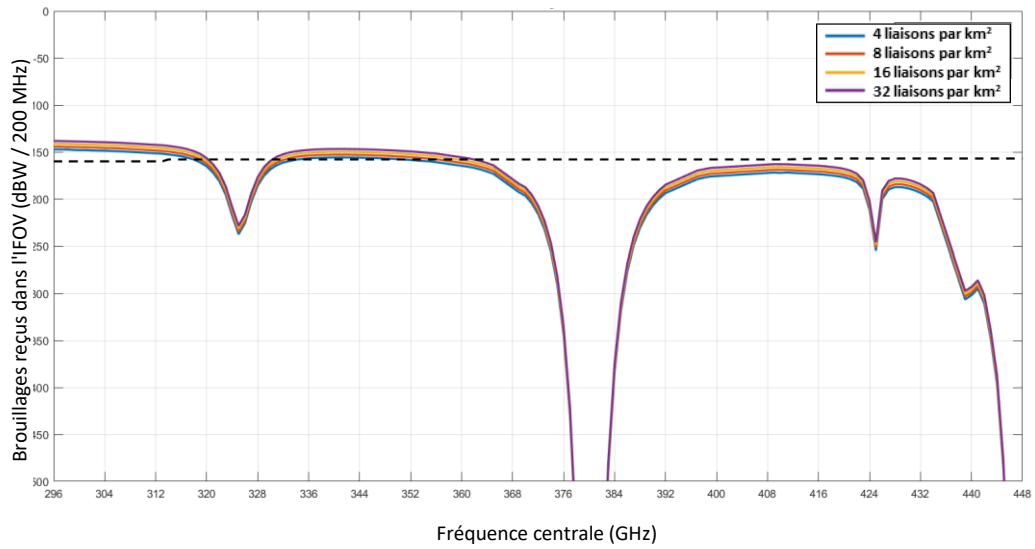
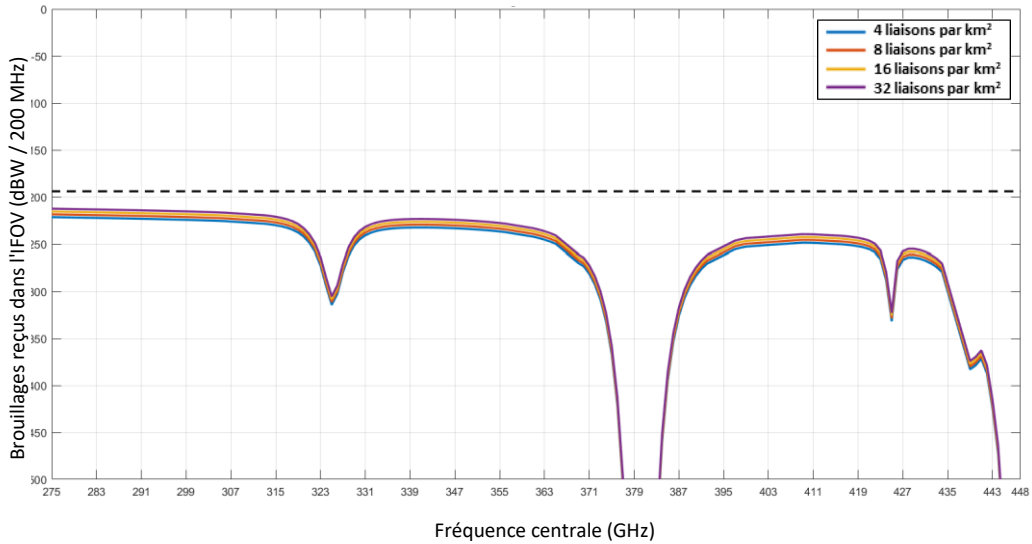


FIGURE A4-24

Brouillages causés par des liaisons du SF à un capteur du SETS à sondeur de limbe



La distribution de base des angles d'élévation (maximum de 20°) employée dans cette analyse a été fournie par le groupe de travail spécialiste du domaine. Cependant, l'élévation maximum des liaisons du SF dans la gamme 275-450 GHz ne sera pas réglementée tant que des fréquences n'auront pas été concrètement attribuées. Il est donc nécessaire de considérer qu'une certaine proportion de liaisons du SF pourraient être exploitées à des altitudes plus importantes. À cette fin, nous avons effectué l'analyse ci-après en utilisation la distribution d'angles d'élévation suivante:

- 90% distribués de 20 à 25°
- 10% distribués de 25 à 65°

FIGURE A4-25

Brouillages causés par des liaisons du SF à un capteur du SETS à balayage conique

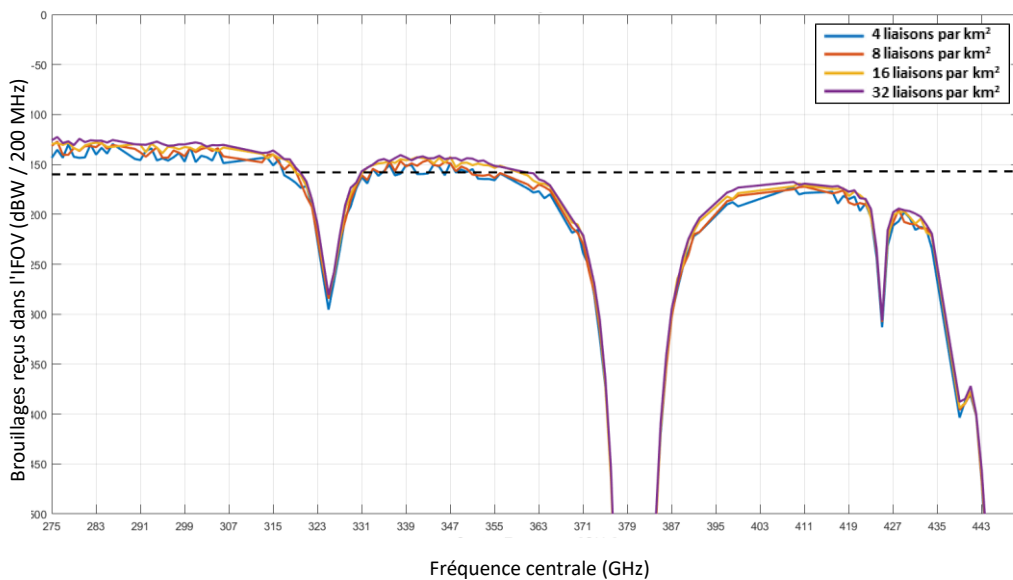


FIGURE A4-26

Brouillages causés par des liaisons du SF à un capteur du SETS à balayage nadir

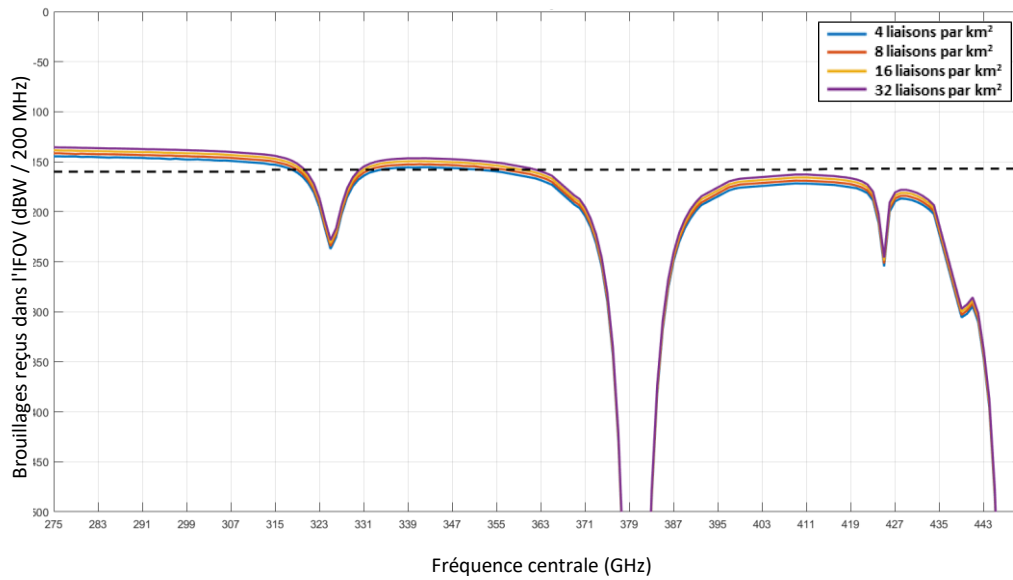
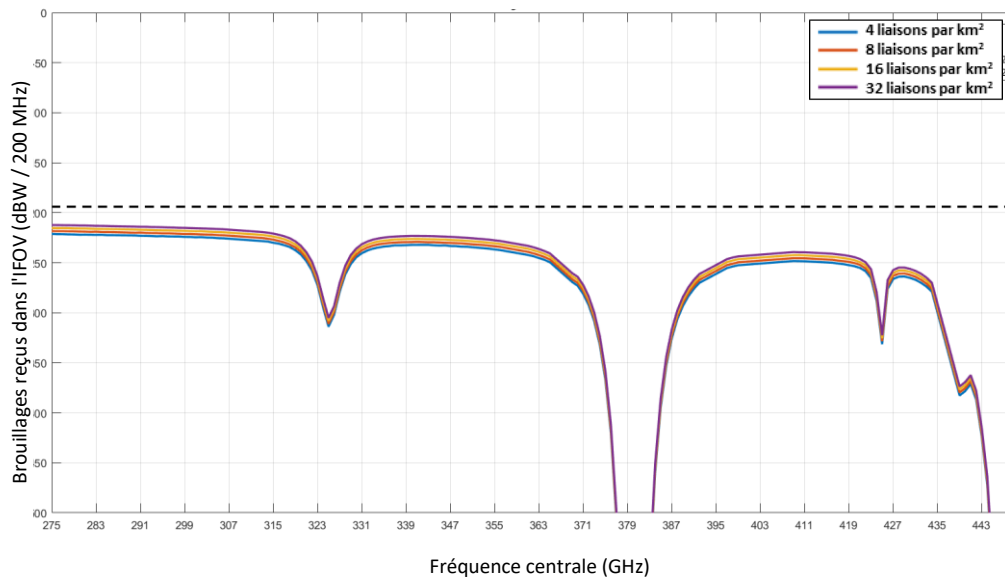


FIGURE A4-27

Brouillages causés par des liaisons du SF à un capteur du SETS à sondeur de limbe



Cette analyse montre que les bandes suivantes ne peuvent pas être utilisées par des applications du SMT sans contraintes particulières:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 330-356 GHz

A4.4.5 Résumé de l'étude 3

L'analyse ci-dessus montre que les bandes suivantes peuvent être utilisées par des applications du SF et du SMT sans contraintes particulières:

- 275-296 GHz
- 306-313 GHz
- 320-330 GHz
- 356-450 GHz

Il convient de noter que dans la bande 275-286 GHz, les applications du SF et du SMT ont montré qu'elles pouvaient poser des problèmes pour les capteurs coniques et nadir; néanmoins, cette bande n'est utilisée actuellement que par des sondeurs de limbe. De ce fait, les applications du SF et du SMT ont été jugées compatibles dans cette bande. Toutefois, si d'autres capteurs du SETS (passive) sont déployés dans cette bande à l'avenir, il faudra revoir cette conclusion; il conviendra notamment de prendre en compte les capteurs de type conique et nadir si l'on envisage de leur attribuer des fréquences dans cette bande.

Ces résultats sont fondés sur les paramètres précis qui ont été fournis par le groupe de travail spécialiste du domaine. Toutefois, si des attributions sont demandées ultérieurement dans la bande 275-450 GHz, il faudra mener de nouvelles études pour définir les dispositions réglementaires (par exemple des limites de puissance et/ou des restrictions aux angles d'élévation) permettant de faire en sorte que ces fréquences soient partagées entre les SF et le SETS (passive).

A4.5 Étude 4: Analyse de partage entre plusieurs stations du SF/SMT et le SETS (passive) entre 275 et 325 GHz

A4.5.1 Introduction

Les bandes de fréquences 275-286 GHz, 296-306 GHz et 313-356 GHz sont identifiées pour le service d'exploration de la Terre par satellite (passive), et un grand nombre de systèmes de télédétection passive sont exploités depuis des satellites, comme l'indique le Tableau 13 du texte principal du présent Rapport. On trouvera dans cette section le résultat d'une étude de partage entre des stations du SF et des capteurs passifs du SETS, ainsi qu'avec une application particulière du SMT fondée sur les systèmes de kiosque du CPMS.

A4.5.2 Niveau de puissance reçue par le capteur passif du SETS

La puissance reçue par une antenne du SETS peut être calculée au moyen de l'équation suivante:

$$P_R = P_T + G_T + G_R - L_{BW} - PL - A$$

où:

- P_R : puissance au port de sortie de l'antenne de réception
- P_T : puissance au port d'entrée de l'antenne de réception
- G_T : gain de l'antenne d'émission en direction de l'antenne de réception
- G_R : gain de l'antenne de réception en direction de l'antenne d'émission
- L_{BW} : facteur limitant la largeur de bande
- PL : affaiblissement «classique» sur le trajet entre les antennes d'émission et de réception en raison de l'étalement géométrique et des interruptions dues au relief
- A : facteur d'affaiblissement supplémentaire dû à l'absorption par l'atmosphère.

Les paramètres indiqués dans les Tableaux 7 et 8 pour la bande de fréquences 275-325 ont été employés pour calculer le niveau de puissance reçue par le SETS (passive), dont les caractéristiques ont été reprises du système ICI décrit au Tableau 14. On considère que le gain de l'antenne du SF en direction du zénith est de -13 dBi conformément à la Recommandation UIT-R F.1245. L'affaiblissement sur le trajet entre un point sur Terre et le SETS (passive), dont l'altitude est de 817 km, est repris de la Fig. 6. Bien que trois altitudes d'antenne du SMT/SF à 0 m, 1000 m et au-dessus aient été prises en compte dans les analyses de partage et de compatibilité, les résultats de l'étude sont résumés pour des altitudes inférieures à 1000 m car la plupart des grandes villes du monde dont la population est supérieure à 10 millions sont situées entre 0 et 1 000 m.

A4.5.3 Déploiement du CPMS

La présente section contient les caractéristiques techniques et opérationnelles des applications du CPMS à utiliser aux fins des études de partage entre le CPMS et le SETS (passive) conformément au Rapport UIT-R M.2417. Les applications du CPMS sont utilisées à l'intérieur de bâtiments et presque tous les angles d'élévation d'antenne des dispositifs fixes du CPMS pour les systèmes mobiles de téléchargement de billets en kiosque et de téléchargement de billets au portique sont supérieurs à $+90^\circ$. Ces dispositifs fixes du CPMS commencent à fonctionner lorsque les dispositifs mobiles du CPMS sont placés à leur proximité. Du fait de leur proximité, les dispositifs mobiles du CPMS peuvent également être utilisés pour offrir une protection contre la puissance rayonnée produite par les dispositifs fixes du CPMS en direction des systèmes hertziens. Bien que deux dispositifs soient situés très près l'un de l'autre, la fuite de puissance peut rayonner depuis l'espace compris entre les deux dispositifs. Néanmoins, cette fuite de puissance non désirée n'est pas prise en compte dans la présente étude. Bien que l'angle d'élévation d'antenne des dispositifs mobiles du CPMS en service soit de -90° , c'est le scénario le plus défavorable, dans lequel l'angle d'élévation d'antenne est de $+90^\circ$, qui a été pris en compte dans les études. Le Tableau A4-7 contient un résumé des paramètres techniques et opérationnels employés dans les études de partage entre l'application du SMT correspondant aux caractéristiques de fonctionnement et de déploiement des systèmes mobiles de téléchargement en kiosque et le SETS (passive). Nous avons employé un affaiblissement dû aux bâtiments de 28 dB (correspondant à des bâtiments classiques) dans l'étude pour ne pas surestimer cette valeur dans la bande 300 GHz.

TABLEAU A4-7

**Résumé des paramètres techniques et opérationnels des applications du CPMS
à utiliser dans les études de partage**

Paramètres	Valeurs	Observations
Gamme de fréquences (GHz)	275-450	Application du CPMS décrite dans le Rapport UIT-R M.2417
Élévation de l'antenne (degrés)	+90	Gain d'antenne du dispositif fixe du CPMS: 30 dBi (voir Annexe 3)
	+90	Gain d'antenne du dispositif mobile du CPMS:15 dBi (voir Annexe 3)
Déploiement du dispositif fixe du CPMS à l'intérieur de bâtiments (%)	90	La valeur de l'application améliorée du CPMS indiquée dans le Rapport UIT-R M.2417 est appliquée.
Affaiblissement dû aux bâtiments (dB)	28	Valeur extrapolée selon les indications de la Rec. UIT-R P.2109 (voir Annexe 2)

A4.5.4 Déploiement du SF

Les angles d'élévation de l'antenne sont calculés à partir de la hauteur d'antenne des stations du SF et de la longueur des liaisons du SF. Le Rapport UIT-R F.2417-0 donne l'angle d'élévation à ± 20 degrés des stations du SF dans les zones urbaines, où la hauteur de la station du SF est comprise entre 6 et 25 m et où la distance entre les stations du SF se situe entre 100 et 300 m. Cependant, il faut considérer, dans le cas le plus défavorable, la possibilité que l'angle d'élévation de certaines liaisons puisse aller jusqu'à 30 degrés pour des liaisons à courte distance et à angle d'élévation élevé situées dans des zones urbaines denses, conformément au Rapport UIT-R F.2239-0.

Bien que la densité de liaisons du SF de $4,2/\text{km}^2$ prévue dans le Rapport UIT-R F.2417-0 ne concerne que les gammes de fréquences 275-325 Hz et 380-445 GHz, elle a été utilisée pour l'ensemble de la bande de fréquences 275-450 GHz aux fins des études de partage.

A4.5.5 Niveau de puissance reçue par les capteurs du SETS (passive)

Le Tableau A4-8 contient un résumé des paramètres employés pour le calcul de la puissance cumulative reçue par les capteurs du SETS (passive). Toutes les bandes de la gamme de fréquences 275-450 GHz identifiées pour les capteurs du SETS (passive) sont évaluées conformément au § 5.2.

TABLEAU A4-8

Paramètres du SETS (passive) à utiliser dans les études de partage

Capteurs du SETS (passive)	Largeur de bande reçue par les capteurs (MHz)	Angle par rapport au nadir (degrés)	Effet cumulatif	
Limbe	3	0	Sans objet Pointage de l'antenne à 30 dBi du dispositif fixe du CPMS vers le capteur du SETS (passive) (Scénario le plus défavorable)	Sans objet Pointage de l'antenne à 50 dBi de la station du SF vers le capteur du SETS (passive) (Scénario le plus défavorable)
Nadir(1)	200	90	Densité de dispositifs = 0,6/km ² Champ de vision instantané (IFOV) = 30 km ² (ICI), 10 km ² (TWICE), 110 km ² (GOMAS) Nombre de dispositifs = 18 (ICI), 6 (TWICE), 66 (GOMAS) Facteur d'activité = 0,76% Distribution de probabilité cumulative < 0,01%	Densité de liaisons du SF = 4,2/km ² Champ de vision instantané (IFOV) = 30 km ² (ICI), 10 km ² (TWICE), 110 km ² (GOMAS) Nombre d'émetteurs = 252 (ICI), 84 (TWICE), 924 (GOMAS) Distribution des stations du SF: Distribution discrète uniforme Gain moyen de l'antenne = 5,2 dB (ICI), 0,8 dB (TWICE), 10,7 dB (GOMAS)
Conique	200	53	Densité de dispositifs = 0,6/km ² IFOV = 200 km ² (ICI) Pointage des antennes à 30 dBi et 15 dBi des dispositifs fixes et mobiles du CPMS vers le capteur du SETS (passive) Angle d'élévation = 25,7°	Pointage de l'antenne à 50 dBi de la station du SF vers le capteur du SETS (passive) Angle d'élévation = 25,7°

(1) La puissance reçue au niveau du capteur en mode balayage du nadir est calculée uniquement dans la direction du zénith à 90 degrés.

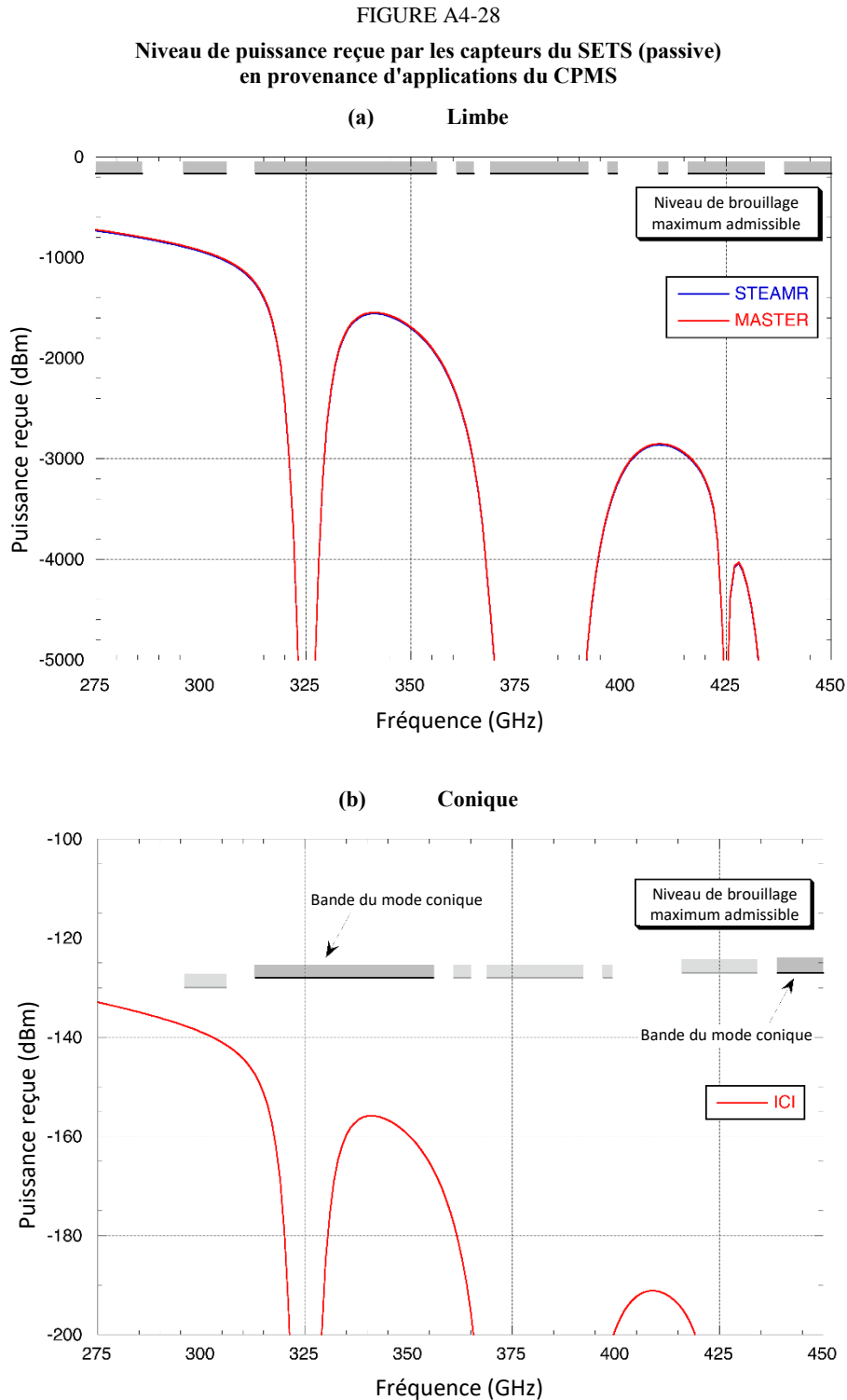
A4.5.5.1 Niveau de puissance reçue depuis les systèmes mobiles du CPMS

La Fig. A4-28 présente les résultats d'études montrant que la bande 275-450 GHz est disponible pour les applications du SMT si certains affaiblissements supplémentaires, comme l'affaiblissement dû aux bâtiments, sont applicables et peuvent être pris en compte. La Fig. A4-28 (c) fait apparaître les résultats suivants:

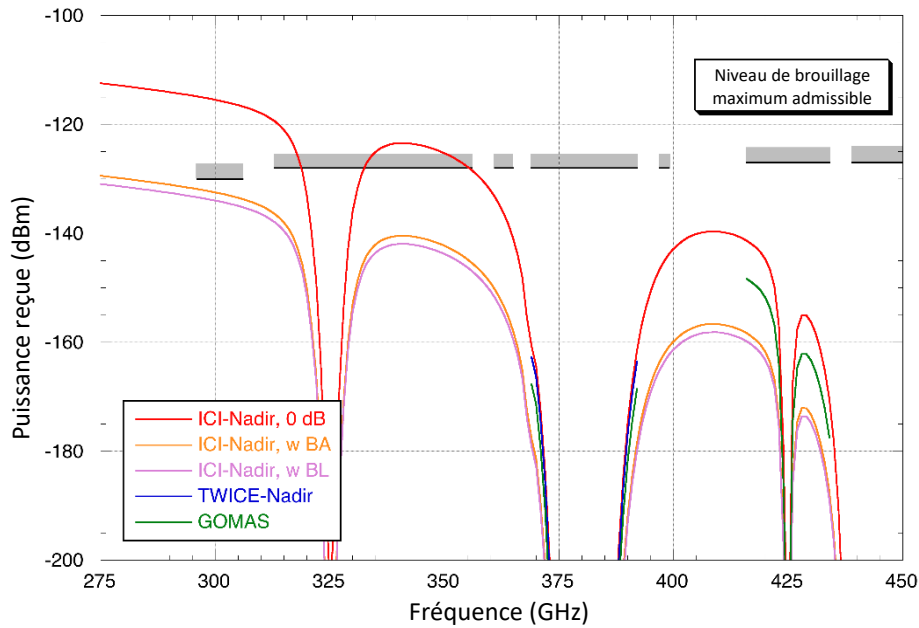
- a) L'ensemble de la bande 275-450 GHz n'est pas disponible pour les applications du CPMS si 10% de ses dispositifs sont utilisés en extérieur, car aucun affaiblissement dû aux bâtiments ne pourrait être pris en compte.

- b) Les bandes 296-306 GHz, 313-316 GHz et 332-356 GHz ne peuvent être utilisées par les applications du CPMS si aucun affaiblissement supplémentaire n'est pris en compte.

En résumé, les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 319-332 GHz et 356-450 GHz peuvent être utilisées par les applications du CPMS sans conditions particulières. De plus, toute la bande 275-450 GHz pourrait être utilisée par ces applications si certaines conditions précises, telles que l'affaiblissement dû aux bâtiments, sont applicables aux dispositifs du CPMS employés en intérieur.



- (c) Nadir (si l'on ne tient pas compte de l'affaiblissement dû aux bâtiments de 17 dB dans les études de partage, le niveau de puissance reçue dépasse le niveau maximal de brouillage dans les bandes 296-306 GHz, 313-319 GHz et 332-356 GHz)



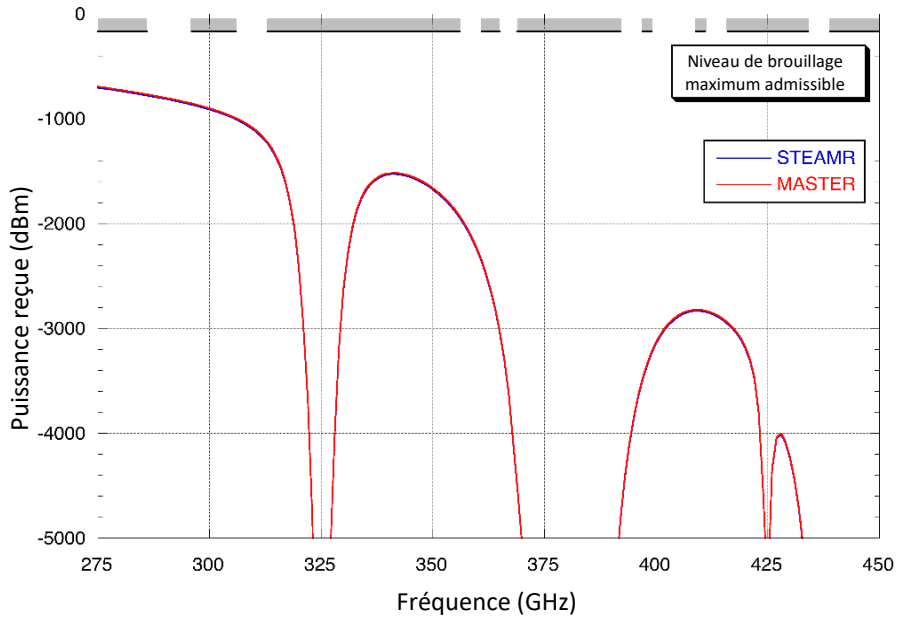
A4.5.5.2 Niveau de puissance reçue depuis des liaisons de raccordement point à point vers l'avant et vers l'arrière

La Fig. A4-29 présente les résultats du calcul du niveau de puissance reçue par les capteurs du SETS (passive). Aucun brouillage provenant de stations du SF n'est observé pour les capteurs en mode limbe et nadir. Cependant, le niveau de puissance reçue dépasse le niveau de brouillage maximum dans les bandes du mode balayage conique (313-318 GHz et 336-348 GHz) et dans la bande du mode nadir (296-306 GHz), comme le montre la Fig. A4-29 (b). En résumé, les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 318-336 GHz et 348-450 GHz sont disponibles pour les applications du SF sans conditions particulières.

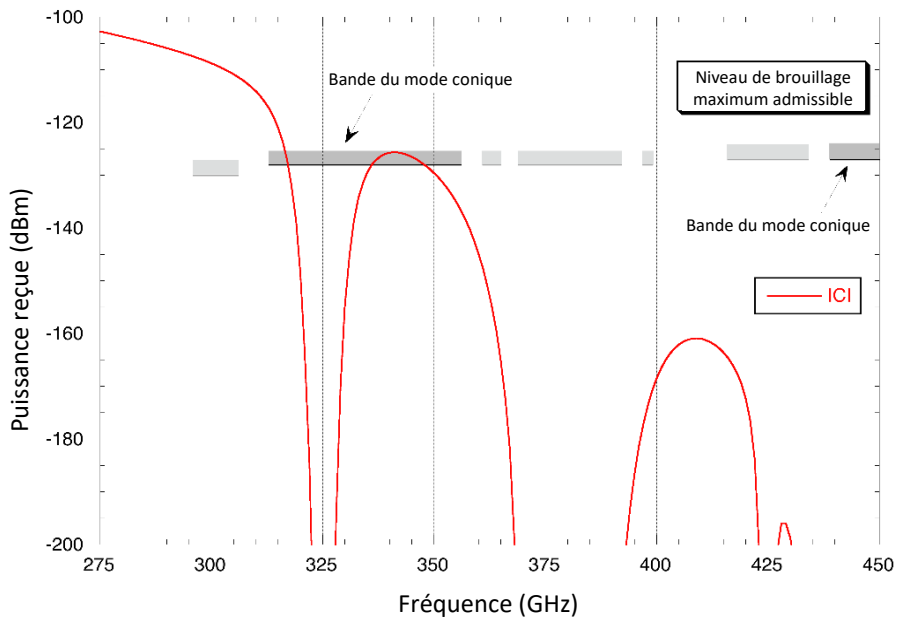
FIGURE A4-29

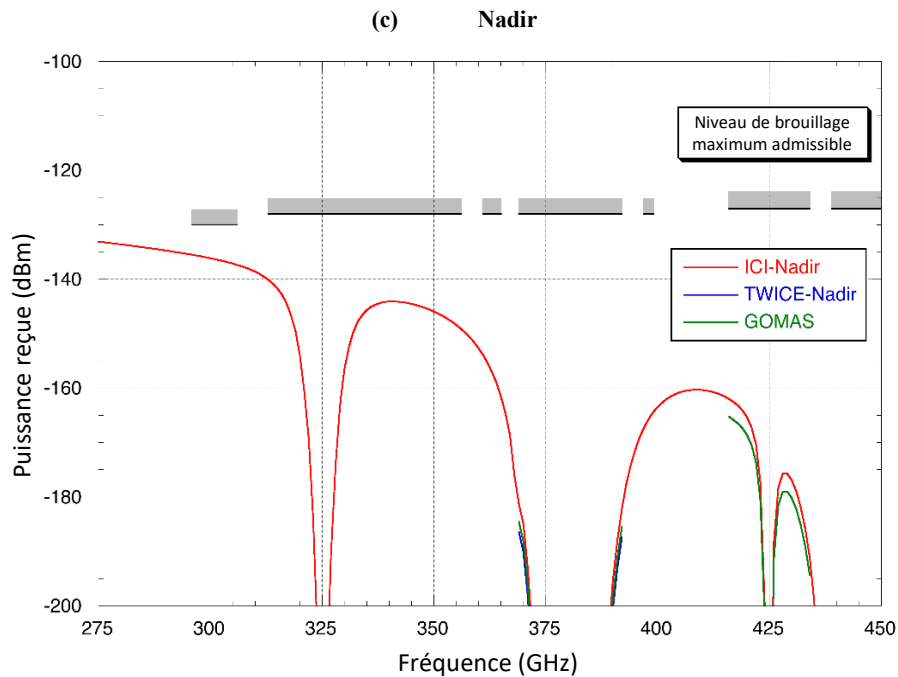
Niveau de puissance reçue par les capteurs du SETS (passive)
en provenance d'applications du SF

(a) Limbe



(b) Conique (le niveau de puissance reçue dépasse le niveau maximal de brouillage dans les bandes du mode balayage conique 313-318 GHz et 336-348 GHz, et dans la bande du mode nadir 296-306 GHz)





A4.5.6 Résumé de l'étude 4

Les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 319-332 GHz et 356-450 GHz peuvent être utilisées par les applications du CPMS sans conditions particulières. Les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 318-336 GHz et 348-450 GHz peuvent être utilisées par les applications du SF sans conditions particulières. Enfin, s'agissant de la compatibilité entre le SF/SMT et le SETS (passive), les bandes 275-296 GHz, 306-313 GHz, 319-332 GHz et 356-450 GHz peuvent être utilisées par les applications du SF/SMT.

A4.6 Étude 5: Analyses de compatibilité entre le SETS (passive) et le SF dans la gamme de fréquences 275-450 GHz (brouillages cumulatifs)

La présente étude contient une analyse des brouillages cumulatifs causés par les systèmes du SF au SETS (passive) dans la bande 275-450 GHz. La méthode employée consistait à déterminer la puissance maximale des brouillages cumulatifs produite par les stations du SF déployées dans le champ de vision (FOV) du capteur du SETS, puis à calculer l'affaiblissement minimum dû à l'atmosphère qui serait nécessaire pour garantir le respect des critères de protection du SETS. Cet affaiblissement a ensuite été comparé aux valeurs réelles prévues dans la Recommandation UIT-R P.676 afin de déterminer les bandes compatibles.

A4.6.1 Caractéristiques du SETS (passive)

Les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 275-450 GHz sont décrits dans le § 5.4. Pour ce qui concerne le système ICI, il est nécessaire d'employer les paramètres suivants dans l'analyse de partage:

TABLEAU A4-9
Caractéristiques du système ICI

	Capteur de l'ICI
Type d'orbite	Non OSG
Altitude (km)	817
Angle par rapport au nadir (degrés)	53
Élévation par rapport au sol (degrés)	25,7
I FOV (km ²)	200
Gain d'antenne (dBi)	55

Les canaux pertinents pour le système ICI sont les suivants:

- Canal 1: 314,15-317,15 GHz (3 GHz)
- Canal 2: 320,45-322,85 GHz (2,4 GHz)
- Canal 3: 323,65-324,45 GHz (1,6 GHz)
- Canal 4: 325,85-327,45 GHz (1,6 GHz)
- Canal 5: 327,45-329,85 GHz (2,4 GHz)
- Canal 6: 333,15-336,15 GHz (3 GHz)

Par ailleurs, pour pouvoir effectuer une analyse générique dans toutes les bandes de fréquences, cinq systèmes génériques ont été envisagés; ils sont décrits dans le Tableau A4-10.

TABLEAU A4-10
Systèmes génériques du SETS (passive)

	Type ICI	Type TWICE	Type NADIR	Type GOMAS (nadir)	Type GOMAS (faible altitude)
Type d'orbite	Non OSG	Non OSG	Non OSG	OSG	OSG
Altitude (km)	817	400	817	35 684	35 684
Angle par rapport au nadir (degrés)	53	53	0	0	8,5
Élévation par rapport au sol (degrés)	25,7	31,9	90	90	12,7
I FOV (km ²)	200	50	30	110	890
Gain d'antenne (dBi)	55	48	55	79	79

NOTE – Les capteurs transversaux peuvent être représentés par le type nadir comme par le type ICI.

A4.6.2 Caractéristiques et déploiement du SF

Les systèmes du SF fonctionnant dans la bande 275-450 GHz sont décrits dans le § 5.2.

Les paramètres techniques suivants doivent être pris en compte dans les analyses de partage entre les systèmes du SF et les systèmes du SETS (passive):

- Plage de p.i.r.e. de 30 à 67 dBm/GHz.
- Plage de gain d'antenne de 24 à 50 dBi.
- Diagramme d'antenne du SF: F.1245.

S'agissant du nombre de liaisons du SF, nous avons formé les hypothèses suivantes:

- Scénario en fonction de la densité de liaisons = 4,2 liaisons/km².
- Scénario en fonction de la population = 0,00035 liaisons/habitant.

Enfin, pour ce qui concerne les distributions d'élévation des liaisons du SF, nous avons employé le cas le plus simple présenté dans le Rapport UIT-R F.2416, soit un angle d'élévation classique de 20° (cas 1), ce qui ne signifie pas qu'il ne pourrait pas y avoir d'élévation plus importante.

Dans l'hypothèse où l'élévation maximale des liaisons du SF dans la gamme 275-450 GHz ne serait pas réglementée, nous avons aussi pris en considération dans la présente étude l'effet d'une certaine proportion de liaisons du SF fonctionnant à des altitudes plus importantes. À cette fin, nous avons pris comme référence l'exemple proposé dans le Rapport UIT-R F.2239, qui décrit les cas d'élévation suivants pour les liaisons du SF fonctionnant dans la bande 81-86 GHz:

TABLEAU A4-11

Scénarios d'élévation du SF repris du Rapport UIT-R F.2239

Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Liaisons fonctionnant à des angles d'élévation importants	0,39% des liaisons ont un angle élévation supérieur à 20°	0,5 % des liaisons ont un angle d'élévation entre 30° et 45°	± 30° (distribués normalement)	Moins de 2% de liaisons dont l'angle d'élévation est compris entre 20° et 65°

NOTE – Comme la longueur des bords des liaisons du SF est très probablement plus élevée dans la bande 81-86 GHz que dans la bande 275-450 GHz, les angles d'élévation du SF peuvent être plus grands dans la bande 275-450 GHz.

Pour calculer les effets cumulatifs d'un déploiement du SF sur les capteurs du SETS (passive), nous avons employé la méthode suivante:

1ère étape: Déterminer le nombre de liaisons du SF présentes dans l'empreinte du SETS:

- Option 1: en fonction de la densité (4,2 liaisons/km²).
- Option 2: en fonction de la population (0,00035 liaisons/habitant) (voir la méthode dans l'Annexe 1).

TABLEAU A4-12

Nombre de liaisons du SF présentes dans l'empreinte du SETS (passive)

	Type ICI	Type TWICE	Type NADIR	Type GOMAS (nadir)	Type GOMAS (faible altitude)
IFOV (km ²)	200	50	30	110	890
En fonction de la densité (nombre de liaisons)	840	210	126	462	3 738
En fonction de la population (nombre de liaisons)	1 030	393	228	874	1 903

2ème étape: Déploiement aléatoire du nombre de liaisons du SF, les paramètres suivants étant choisis au hasard:

- azimut (0 à 360°);
- élévation (selon les cas de distribution 1 à 5 ci-dessus);
- p.i.r.e. (30 à 67 dBm/GHz);
- gain d'antenne (24 à 50 dBi).

3ème étape: Pour chaque cas, effectuer 1 000 déploiements aléatoires différents afin de déterminer la distribution de la p.i.r.e. maximale dans la direction du capteur du SETS (passive).

A4.6.3 p.i.r.e. maximale du SF dans la direction des satellites du SETS (passive)

Les sections suivantes indiquent la p.i.r.e. maximale rayonnée par le SF au sol dans la direction des satellites du SETS (passive) (exprimée en dBm/200 MHz).

a) Une seule source de brouillage

La p.i.r.e. maximale rayonnée par le SF est indiquée comme étant égale à 67 dBm/GHz. Dès lors, la p.i.r.e. maximale d'une seule source de brouillage du SF au sol en direction des satellites du SETS (passive), exprimée en dBm/200 MHz, est la suivante:

$$\text{p.i.r.e. max} = 67 + 10 \times \log(200/1\ 000) = 60 \text{ dBm/200 MHz}$$

b) Brouillages cumulatifs pour un capteur de type ICI

FIGURE A4-30

p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type ICI
(en fonction de la densité)

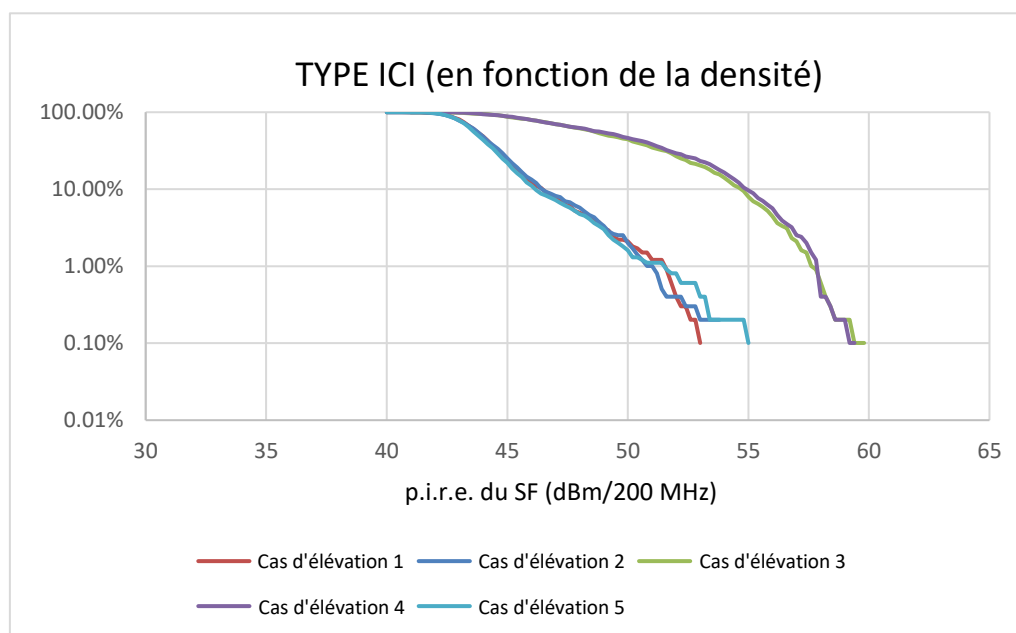
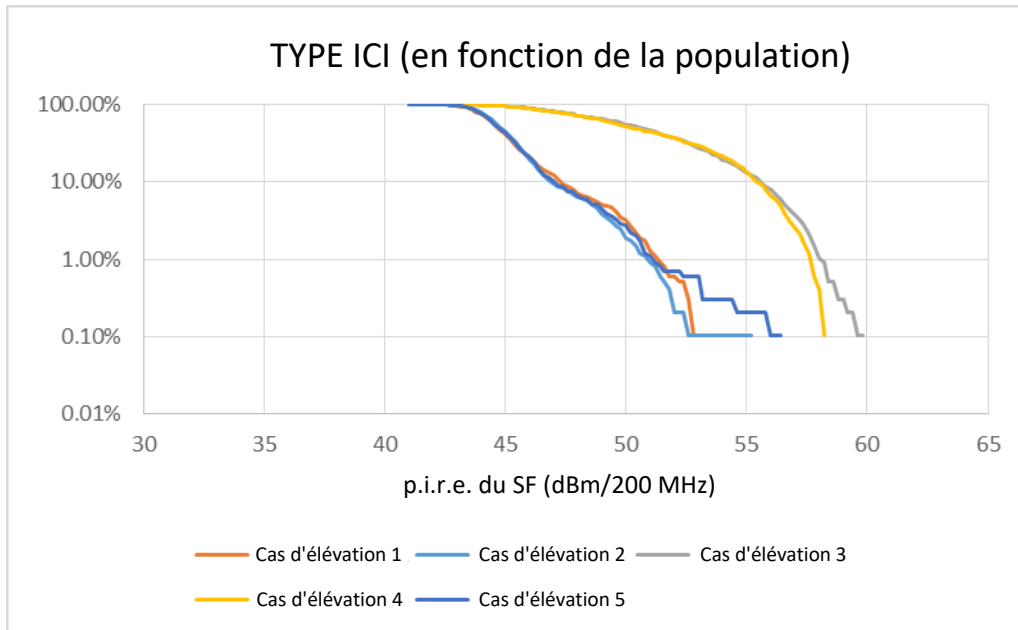


FIGURE A4-31
 p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type ICI
 (en fonction de la population)



La p.i.r.e. cumulative maximale ressortant des Figures ci-dessus est de 59,8 dBm/200 MHz.

c) **Brouillages cumulatifs pour un capteur de type TWICE**

FIGURE A4-32
 p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type TWICE
 (en fonction de la densité)

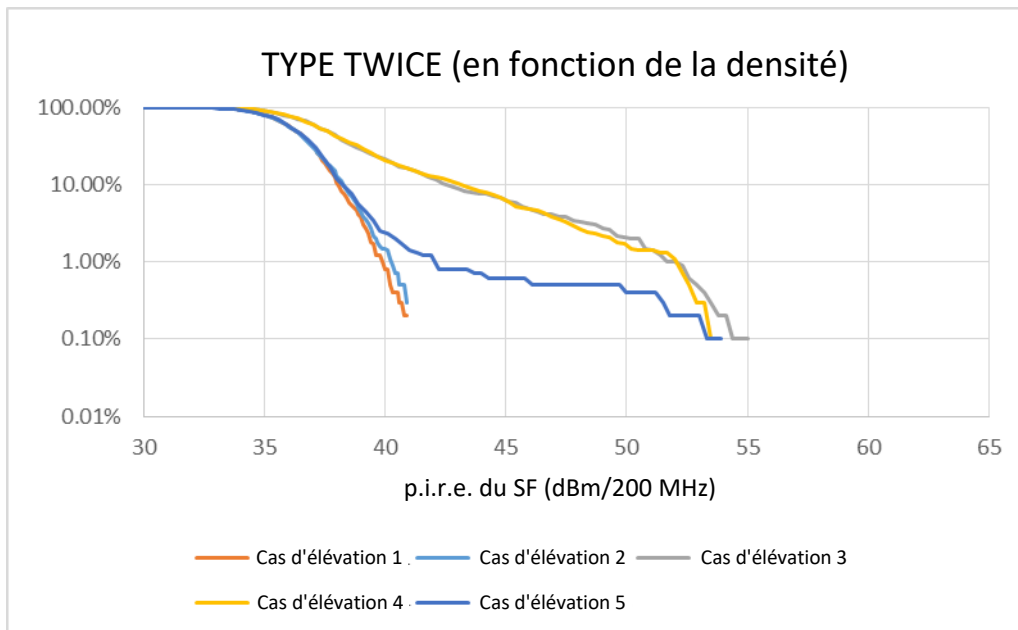
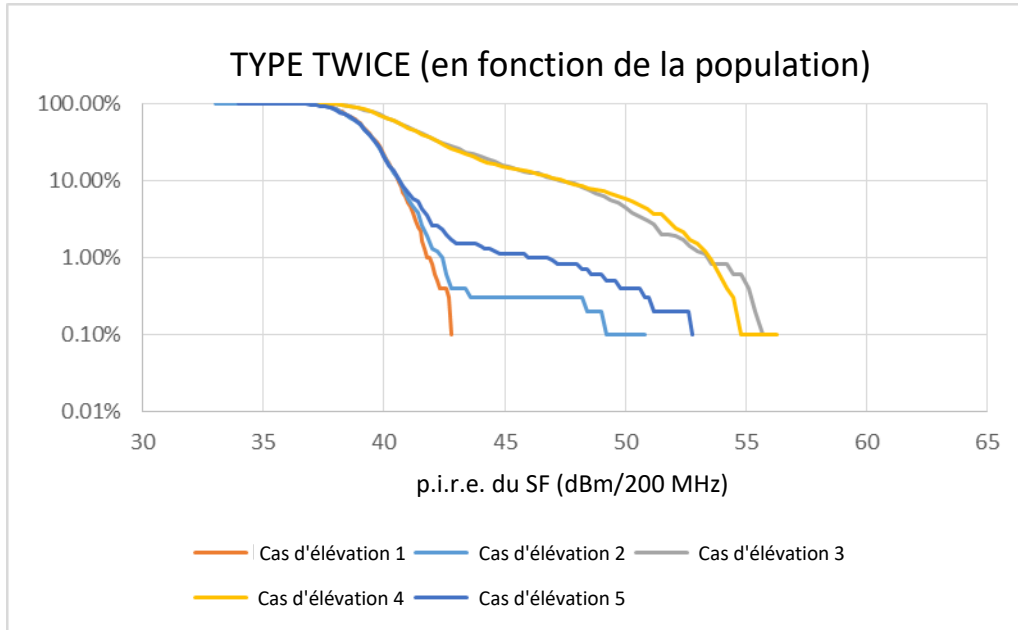


FIGURE A4-33
 p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type TWICE
 (en fonction de la population)



La p.i.r.e. cumulative maximale ressortant des Figures ci-dessus est de 56,3 dBm/200 MHz.

d) Brouillages cumulatifs pour un capteur de type NADIR

FIGURE A4-34
 p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type NADIR
 (en fonction de la densité)

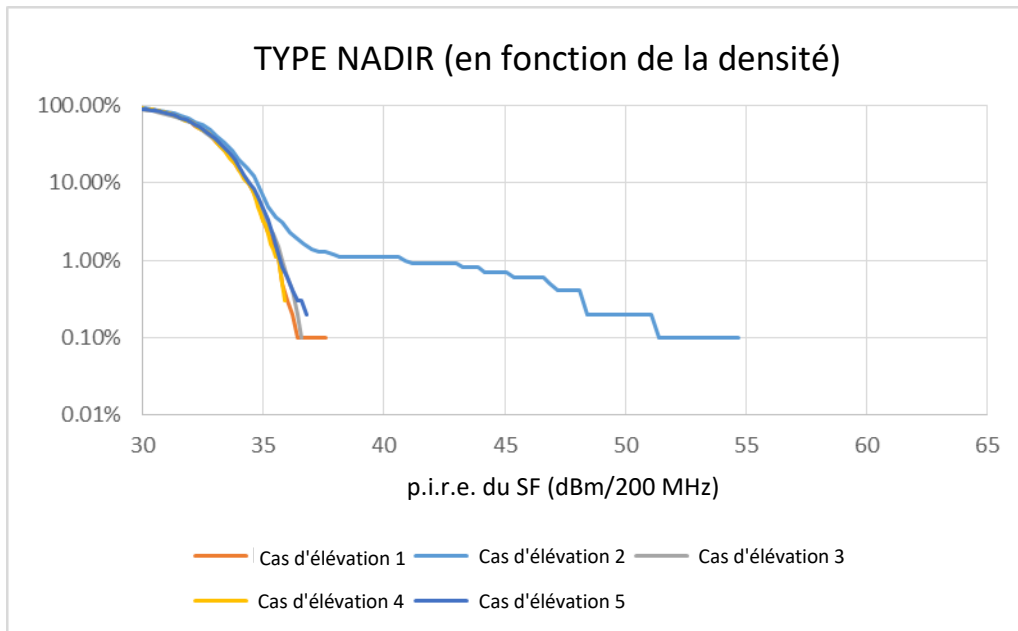
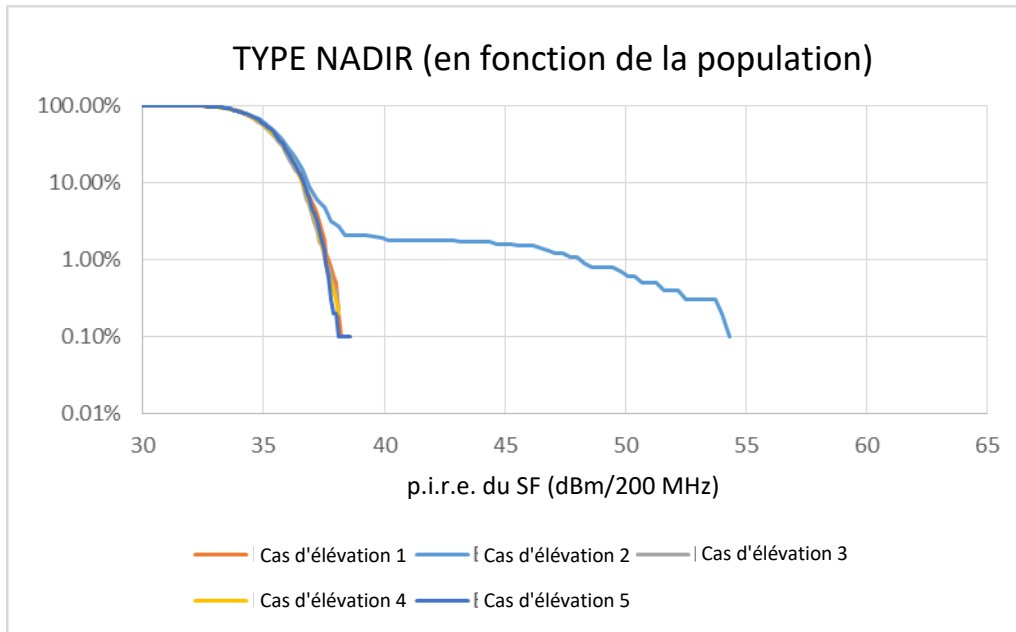


FIGURE A4-35

p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type NADIR (en fonction de la population)



La p.i.r.e. cumulative maximale ressortant des Figures ci-dessus est de 38,6 dBm/200 MHz (si l'on exclut la crête du cas 2).

e) **Brouillages cumulatifs pour un capteur de type GOMAS (nadir)**

FIGURE A4-36

p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type GOMAS (en fonction de la densité)

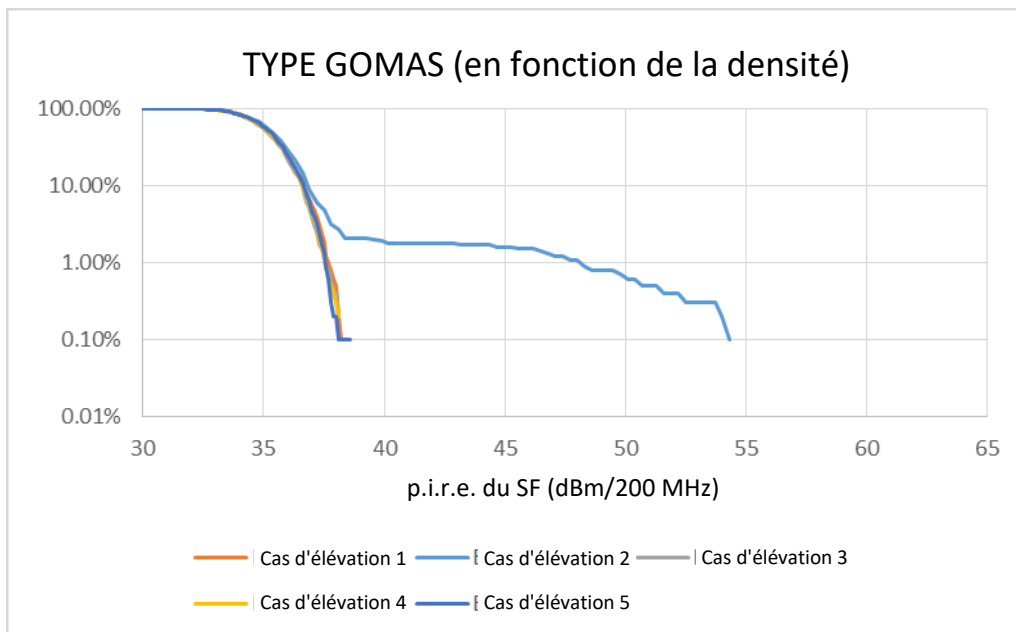
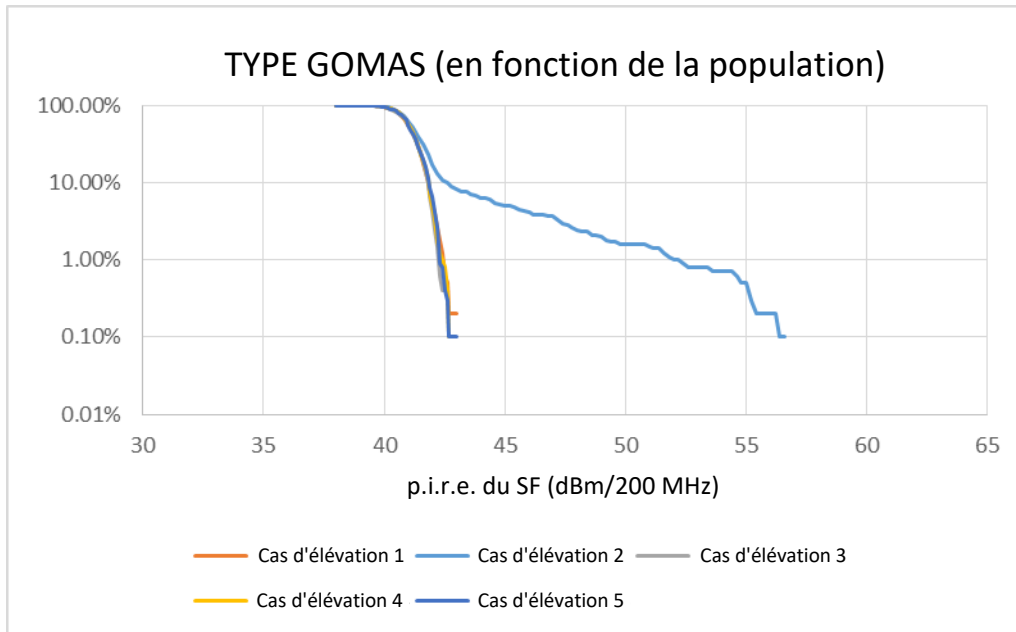


FIGURE A4-37
 p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type GOMAS
 (en fonction de la population)



La p.i.r.e. cumulative maximale ressortant des Figures ci-dessus est de 43 dBm/200 MHz (si l'on exclut la crête du cas 2).

f) **Brouillages cumulatifs pour un capteur de type GOMAS (angle d'élévation faible)**

FIGURE A4-38
 p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type GOMAS (angle d'élévation faible)
 (en fonction de la densité)

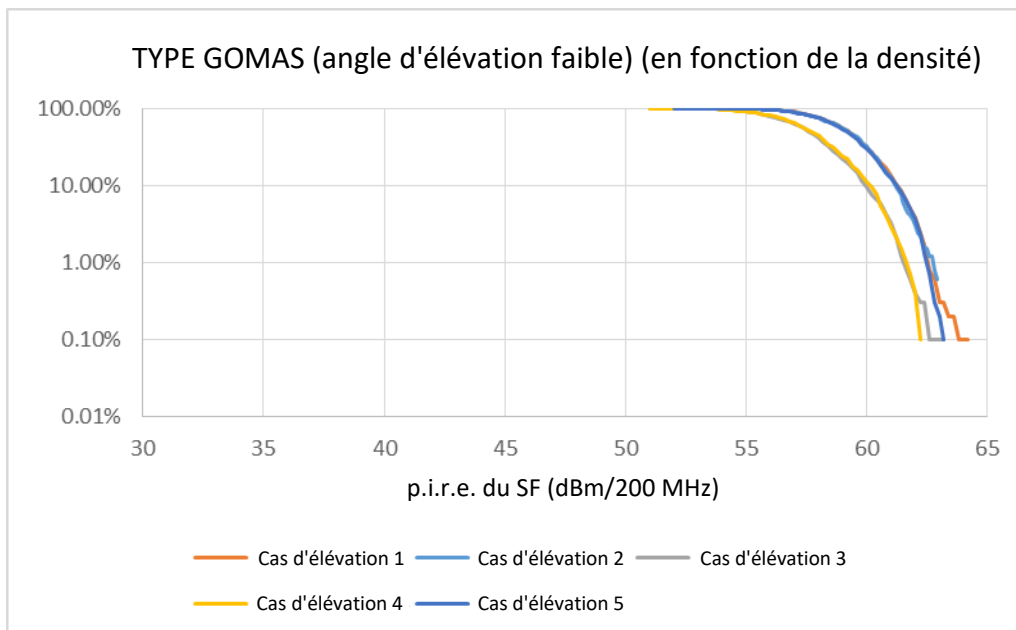
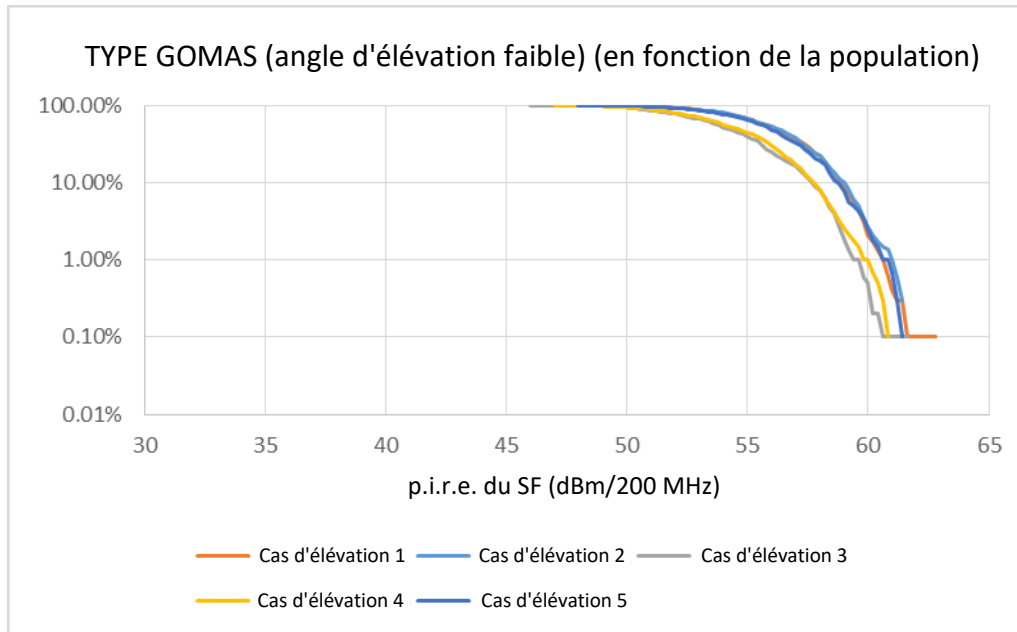


FIGURE A4-39

p.i.r.e. du SF au sol pour un capteur de type GOMAS (angle d'élévation faible)
(en fonction de la population)



La p.i.r.e. cumulative maximale ressortant des Figures ci-dessus est de 64,2 dBm/200 MHz.

A4.6.4 Études de partage avec un système particulier (ICI) du SETS (passive)

Le Tableau A4-13 indique la p.i.r.e. maximale au sol en direction des satellites du SETS (passive) (exprimée en dBm/200 MHz) afin de garantir la protection du capteur ICI dans la bande 313-356 GHz. Les affaiblissements dus à l'atmosphère ont été calculés selon le modèle fourni dans la Recommandation UIT-R P.676. La différence d'affaiblissement dû à l'atmosphère entre les divers canaux décrits ci-après est liée à la variation des profils de vapeur d'eau d'une fréquence à l'autre.

TABLEAU A4-13

Brouillage maximum au sol pour le système ICI

Système du SETS	ICI-1L	ICI-2L	ICI-3L	ICI-4L	ICI-5L	ICI-6L
Fréquence (GHz)	315,65	321,65	323,65	326,65	327,45	334,65
Type de capteur	conique	conique	conique	conique	conique	conique
Altitude de l'orbite (km)	817	817	817	817	817	817
Angle par rapport au nadir (degrés)	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0
Longueur du trajet oblique (km)	1 563	1 563	1 563	1 563	1 563	1 563
Affaiblissements en espace libre (dB)	206,3	206,5	206,5	206,6	206,6	206,8
Élévation par rapport au sol (degrés)	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7
Affaiblissements dus à l'atmosphère (dB)	22,4	48,4	90,3	92,5	65,2	28,1
Gain d'antenne (dBi)	55	55	55	55	55	55
Critères de protection (dBW/200 MHz)	-158	-158	-158	-158	-158	-158
Répartition (dB)	3	3	3	3	3	3
Brouillage maximum au sol (dBW/200 MHz)	42,7	68,9	110,8	113,1	85,8	48,9

Selon l'analyse présentée plus haut dans le § A4.6.3, on peut prévoir la p.i.r.e. maximale au sol suivante:

- 1) Une seule source de brouillage: 60 dBm/200 MHz.
- 2) Brouillages cumulatifs: 59,8 dBm/200 MHz.

Conclusions pour le système ICI dans la bande 313-356 GHz

Les résultats ci-dessus montrent que le déploiement du SF ne sera pas compatible avec le fonctionnement du système ICI dans les canaux 1 et 6.

En revanche, cette compatibilité peut être garantie dans les canaux 2 à 5.

A4.6.5 Analyse générique dans toutes les bandes du SETS (passive)

Dans chaque bande de fréquences, la différence d'affaiblissement en espace libre entre les fréquences la plus basse et le plus élevée est considérée comme négligeable. Les analyses ne sont donc effectuées que pour la fréquence centrale dans chaque bande utilisée par le SETS (passive).

Dès lors, il est proposé de calculer, pour chaque bande et les cinq capteurs génériques du SETS (passive), le brouillage maximum net au sol sans tenir compte de l'affaiblissement dû à l'atmosphère.

Puis, en comparant ce niveau net à la puissance maximale du SF au sol (pour une seule source et pour des brouillages cumulatifs), que nous avons calculée dans le § 4 ci-dessus, nous pouvons déterminer le niveau minimum d'affaiblissement dû à l'atmosphère (à l'élévation correspondante) nécessaire pour garantir la protection des capteurs du SETS (passive).

Ce niveau peut ensuite être utilisé pour déterminer l'affaiblissement minimum équivalent dû à l'atmosphère au zénith, afin de le comparer aux niveaux déterminés pour chaque bande de fréquences conformément à la Recommandation UIT-R P.676.

a) Bande de fréquences 296-306 GHz

Le Tableau A4-14 indique l'affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith qui est nécessaire pour garantir la protection de tous les types de capteurs dans la bande 296-306 GHz.

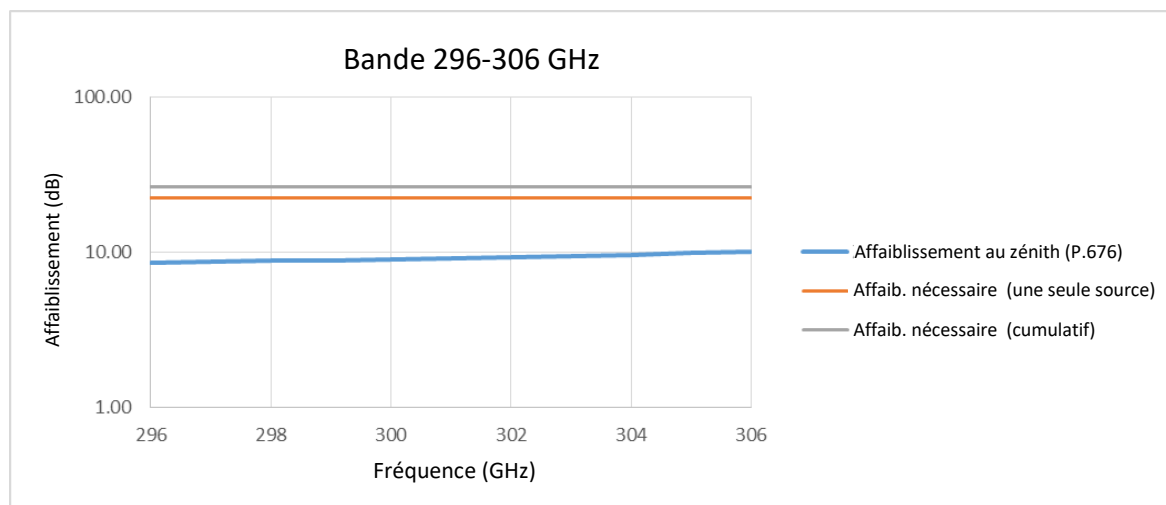
TABLEAU A4-14

**Affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith
(296-306 GHz)**

Système du SETS		TYPE ICI	TYPE TWICE	TYPE NADIR	TYPE GOMAS	TYPE GOMAS	
Fréquence centrale	GHz	301	301	301	301	301	
Altitude de l'orbite	km	817	400	817	35684	35684	
Angle par rap. au nadir	°	53.0	53.0	0.0	0.0	8.5	
Longueur du trajet oblique	km	1563	706	817	35684	40197	
Affaiblissements en espace libre	dB	205.9	199.0	200.3	233.1	234.1	
Élévation par rap. au sol	°	25.7	31.9	90.0	90.0	12.7	
Affaiblis. dus à l'atmosphère	dB						
Gain d'antenne	dBi	55	48	55	79	79	
Critères de protection	dBW/200 MHz	-160	-160	-160	-160	-160	
Répartition	dB	3	3	3	3	3	
Brouillage maximum au sol	dBm/200 MHz						
		17.9	18.0	12.3	21.1	22.1	
Puissance maximale du SF au sol (une seule source)	dBW/200 MHz	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	
Puissance maximale du SF au sol (cumulatif)	dBm/200 MHz	59.8	56.3	38.6	43.0	64.2	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (une seule source)	dB	42.1	42.0	47.7	38.9	37.9	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (cumulatif)	dB	41.9	38.3	26.3	21.9	42.1	MAX
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (une seule source)	dB	18.3	22.2			8.3	22.2
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (cumulatif)	dB	18.2	20.3	26.3	21.9	9.2	26.3

FIGURE A4-40

**Comparaison entre les affaiblissements nécessaires et les affaiblissements indiqués dans la Recommandation UIT-R P.676
(296-306 GHz)**



Cette Figure montre que l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la bande 296-306 GHz n'est pas suffisant pour garantir la protection du SETS (passive).

La bande 296-306 GHz ne peut donc pas être utilisée pour le SF sans conditions particulières.

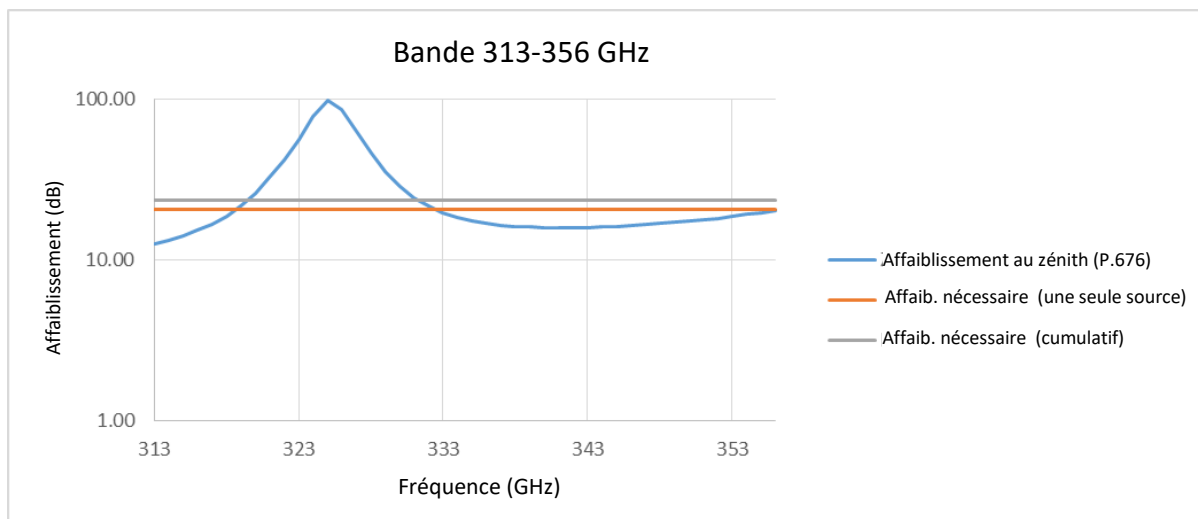
b) Bande de fréquences 313-356 GHz

Le Tableau A4-15 indique l'affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith qui est nécessaire pour garantir la protection de tous les types de capteurs dans la bande 313-356 GHz.

TABLEAU A4-15
Affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith
(313-356 GHz)

Système du SETS		TYPE ICI	TYPE TWICE	TYPE NADIR	TYPE GOMAS	TYPE GOMAS
Fréquence centrale	GHz	334.5	334.5	334.5	334.5	334.5
Altitude de l'orbite	km	817	400	817	35684	35684
Angle par rap. au nadir	°	53.0	53.0	0.0	0.0	8.5
Longueur du trajet oblique	km	1563	706	817	35684	40197
Affaiblissements en espace libre	dB	206.8	199.9	201.2	234.0	235.0
Élévation par rap. au sol	°	25.7	31.9	90.0	90.0	12.7
Affaiblis. dus à l'atmosphère	dB					
Gain d'antenne	dBi	55	48	55	79	79
Critères de protection	dBW/200					
	MHz	-158	-158	-158	-158	-158
Répartition	dB	3	3	3	3	3
Brouillage maximum au sol	dBm/200					
	MHz	20.8	20.9	15.2	24.0	25.0
Puissance maximale du SF au sol (une seule source)	dBW/200 MHz	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Puissance maximale du SF au sol (cumulatif)	dBm/200 MHz	59.8	56.3	38.6	43.0	64.2
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (une seule source)	dB	39.2	39.1	44.8	36.0	35.0
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (cumulatif)	dB	39.0	35.4	23.4	19.0	39.2
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (une seule source)	dB	17.0	20.7			7.7
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (cumulatif)	dB	16.9	18.7	23.4	19.0	8.6

FIGURE A4-41
Comparaison entre les affaiblissements nécessaires et les affaiblissements indiqués dans la Recommandation UIT-R P.676 (313-356 GHz)



Cette Figure montre que l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la majeure partie de la bande 313-356 GHz n'est pas suffisant pour garantir la protection du SETS (passive).

Cependant, la bande 320-331 GHz (largeur de bande de 11 GHz) pourrait être utilisée par des applications du SF.

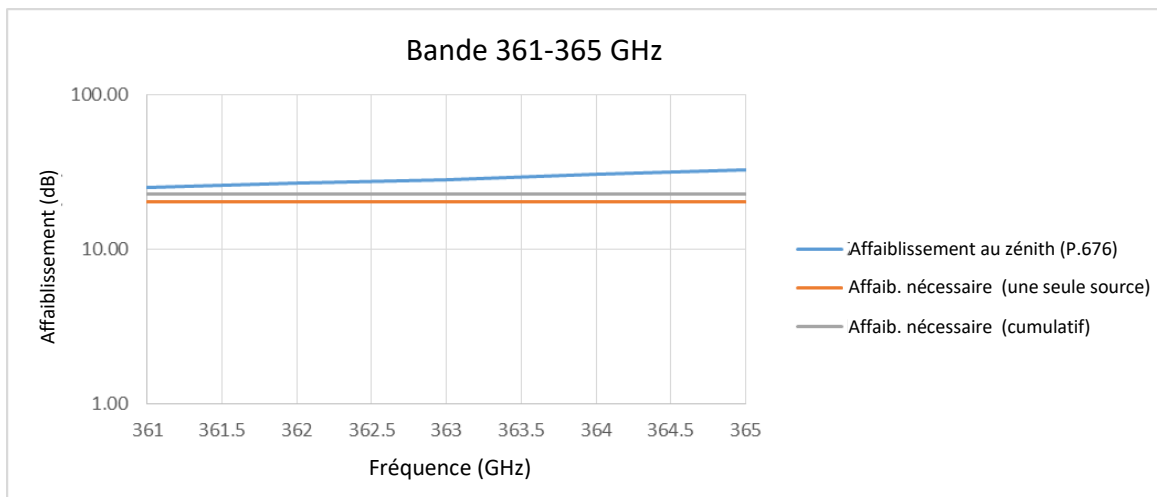
c) Bande de fréquences 361-365 GHz

Le Tableau A4-16 indique l'affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith qui est nécessaire pour garantir la protection de tous les types de capteurs dans la bande 361-365 GHz.

TABLEAU A4-16
Affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith
(361-365 GHz)

Système du SETS		TYPE ICI	TYPE TWICE	TYPE NADIR	TYPE GOMAS	TYPE GOMAS
Fréquence centrale	GHz	363	363	363	363	363
Altitude de l'orbite	km	817	400	817	35684	35684
Angle par rap. au nadir	°	53.0	53.0	0.0	0.0	8.5
Longueur du trajet oblique	km	1563	706	817	35684	40197
Affaiblissements en espace libre	dB	207.5	200.6	201.9	234.7	235.7
Élévation par rap. au sol	°	25.7	31.9	90.0	90.0	12.7
Affaiblis. dus à l'atmosphère	dB					
Gain d'antenne	dBi	55	48	55	79	79
Critères de protection	dBW/200					
	MHz	-158	-158	-158	-158	-158
Répartition	dB	3	3	3	3	3
Brouillage maximum au sol	dBm/200 MHz	21.5	21.6	15.9	24.7	25.7
Puissance maximale du SF au sol (une seule source)	dBW/200 MHz	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Puissance maximale du SF au sol (cumulatif)	dBm/200 MHz	59.8	56.3	38.6	43.0	64.2
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (une seule source)	dB	38.5	38.4	44.1	35.3	34.3
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (cumulatif)	dB	38.3	34.7	22.7	18.3	38.5
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (une seule source)	dB	16.7	20.3			7.5
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (cumulatif)	dB	16.6	18.3	22.7	18.3	8.4

FIGURE A4-42
Comparaison entre les affaiblissements nécessaires et les affaiblissements indiqués dans la Recommandation UIT-R P.676 (361-365 GHz)



Cette Figure montre que l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la bande 361-365 GHz est suffisant pour garantir la protection du SETS (passive).

La bande 361-365 GHz pourrait être utilisée pour les applications du SF.

d) Bande de fréquences 369-392 GHz

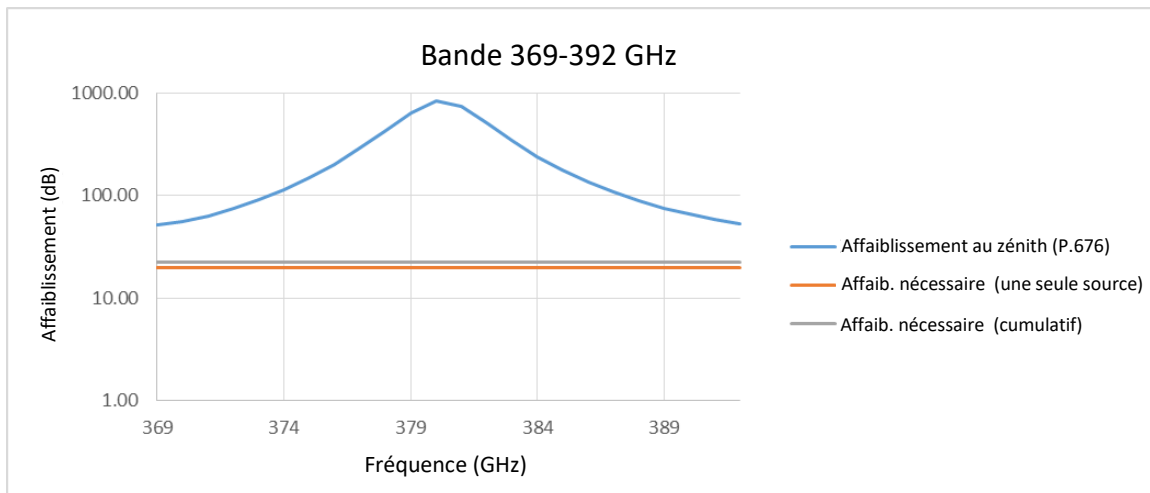
Le Tableau A4-17 indique l'affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith qui est nécessaire pour garantir la protection de tous les types de capteurs dans la bande 369-392 GHz.

TABLEAU A4-17
Affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith
(369-392 GHz)

Système du SETS		TYPE ICI	TYPE TWICE	TYPE NADIR	TYPE GOMAS	TYPE GOMAS	
Fréquence centrale	GHz	380.5	380.5	380.5	380.5	380.5	
Altitude de l'orbite	km	817	400	817	35684	35684	
Angle par rap. au nadir	°	53.0	53.0	0.0	0.0	8.5	
Longueur du trajet oblique	km	1563	706	817	35684	40197	
Affaiblissements en espace libre	dB	207.9	201.0	202.3	235.1	236.1	
Élévation par rap. au sol	°	25.7	31.9	90.0	90.0	12.7	
Affaiblis. dus à l'atmosphère	dB						
Gain d'antenne	dBi	55	48	55	79	79	
Critères de protection	dBW/200 MHz	-158	-158	-158	-158	-158	
Répartition	dB	3	3	3	3	3	
Brouillage maximum au sol	dBm/200 MHz	21.9	22.0	16.3	25.1	26.1	
Puissance maximale du SF au sol (une seule source)	dBW/200 MHz	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	
Puissance maximale du SF au sol (cumulatif)	dBm/200 MHz	59.8	56.3	38.6	43.0	64.2	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (une seule source)	dB	38.1	38.0	43.7	34.9	33.9	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (cumulatif)	dB	37.9	34.3	22.3	17.9	38.1	MAX
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (une seule source)	dB	16.5	20.1			7.4	20.1
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (cumulatif)	dB	16.4	18.1	22.3	17.9	8.3	22.3

FIGURE A4-43

Comparaison entre les affaiblissements nécessaires et les affaiblissements indiqués dans la Recommandation UIT-R P.676 (369-392 GHz)



Cette Figure montre que l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la bande 369-392 GHz est suffisant pour garantir la protection du SETS (passive).

La bande 369-392 GHz pourrait être utilisée pour les applications du SF.

e) Bande de fréquences 397-399 GHz

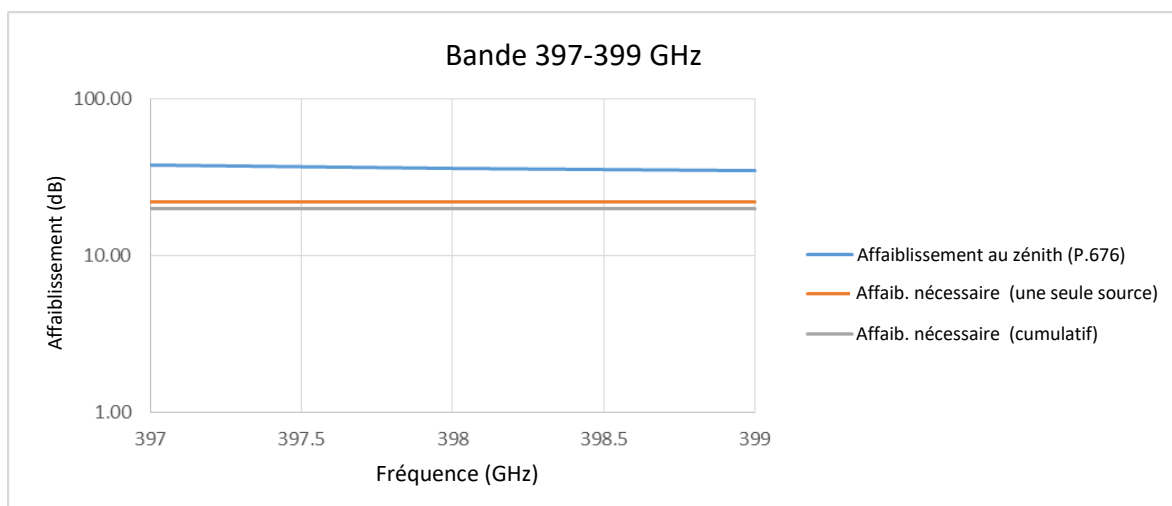
Le Tableau A4-18 indique l'affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith qui est nécessaire pour garantir la protection de tous les types de capteurs dans la bande 397-399 GHz.

TABLEAU A4-18
Affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith
(397-399 GHz)

Système du SETS		TYPE ICI	TYPE TWICE	TYPE NADIR	TYPE GOMAS	TYPE GOMAS	
Fréquence centrale	GHz	398	398	398	398	398	
Altitude de l'orbite	km	817	400	817	35684	35684	
Angle par rap. au nadir	°	53.0	53.0	0.0	0.0	8.5	
Longueur du trajet oblique	km	1563	706	817	35684	40197	
Affaiblissements en espace libre	dB	208.3	201.4	202.7	235.5	236.5	
Élévation par rap. au sol	°	25.7	31.9	90.0	90.0	12.7	
Affaiblis. dus à l'atmosphère	dB						
Gain d'antenne	dBi	55	48	55	79	79	
Critères de protection	dBW/200 MHz	-158	-158	-158	-158	-158	
Répartition	dB	3	3	3	3	3	
Brouillage maximum au sol	dBm/200 MHz	22.3	22.4	16.7	25.5	26.5	
Puissance maximale du SF au sol (une seule source)	dBW/200 MHz	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	
Puissance maximale du SF au sol (cumulatif)	dBm/200 MHz	59.8	56.3	38.6	43.0	64.2	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (une seule source)	dB	37.7	37.6	43.3	34.5	33.5	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (cumulatif)	dB	37.5	33.9	21.9	17.5	37.7	MAX
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (une seule source)	dB	16.3	19.9			7.3	19.9
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (cumulatif)	dB	16.3	17.9	21.9	17.5	8.3	21.9

FIGURE A4-44

Comparaison entre les affaiblissements nécessaires et les affaiblissements indiqués dans la Recommandation UIT-R P.676 (397-399 GHz)



Cette Figure montre que l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la bande 397-399 GHz est suffisant pour garantir la protection du SETS (passive).

La bande 397-399 GHz pourrait être utilisée pour les applications du SF.

f) Bande de fréquences 416-434 GHz

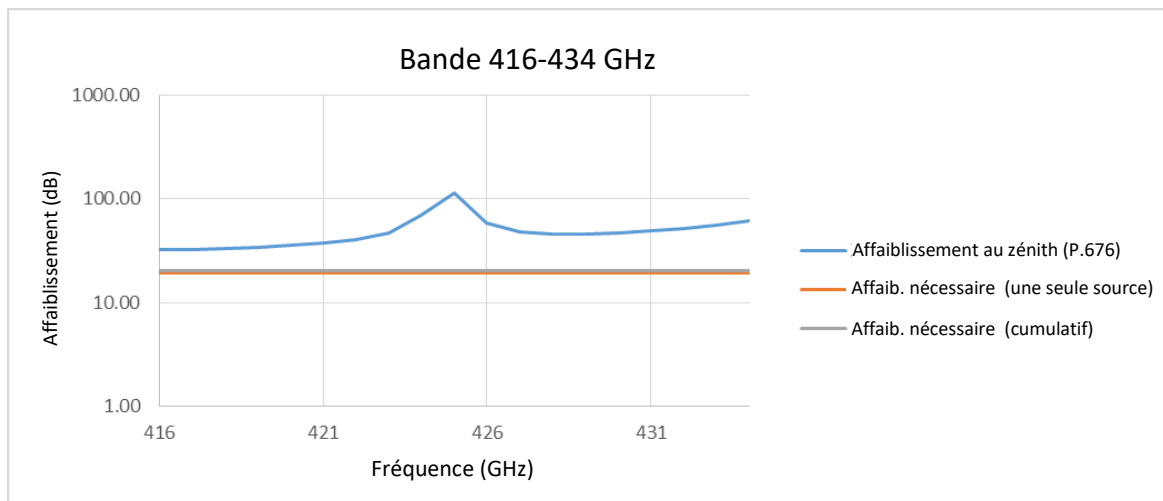
Le Tableau A4-19 indique l'affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith qui est nécessaire pour garantir la protection de tous les types de capteurs dans la bande 416-434 GHz.

TABLEAU A4-19
Affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith
(416-434 GHz)

Système du SETS		TYPE ICI	TYPE TWICE	TYPE NADIR	TYPE GOMAS	TYPE GOMAS	
Fréquence centrale	GHz	425	425	425	425	425	
Altitude de l'orbite	km	817	400	817	35684	35684	
Angle par rap. au nadir	°	53.0	53.0	0.0	0.0	8.5	
Longueur du trajet oblique	km	1563	706	817	35684	40197	
Affaiblissements en espace libre	dB	208.9	202.0	203.3	236.1	237.1	
Élévation par rap. au sol	°	25.7	31.9	90.0	90.0	12.7	
Affaiblis. dus à l'atmosphère	dB						
Gain d'antenne	dBi	55	48	55	79	79	
Critères de protection	dBW/200						
	MHz	-157	-157	-157	-157	-157	
Répartition	dB	3	3	3	3	3	
Brouillage maximum au sol	dBm/200						
	MHz	23.9	24.0	18.3	27.1	28.1	
Puissance maximale du SF au sol (une seule source)	dBW/200						
	MHz	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	
Puissance maximale du SF au sol (cumulatif)	dBm/200						
	MHz	59.8	56.3	38.6	43.0	64.2	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (une seule source)	dB	36.1	36.0	41.7	32.9	31.9	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (cumulatif)	dB	35.9	32.3	20.3	15.9	36.1	MAX
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (une seule source)	dB	15.7	19.0			7.0	19.0
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (cumulatif)	dB	15.6	17.1	20.3	15.9	7.9	20.3

FIGURE A4-45

Comparaison entre les affaiblissements nécessaires et les affaiblissements indiqués dans la Recommandation UIT-R P.676 (416-434 GHz)



Cette Figure montre que l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la bande 416-434 GHz est suffisant pour garantir la protection du SETS (passive).

La bande 416-434 GHz pourrait être utilisée pour les applications du SF.

g) Bande de fréquences 439-467 GHz

Le Tableau A4-20 indique l'affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith qui est nécessaire pour garantir la protection de tous les types de capteurs dans la bande 439-467 GHz.

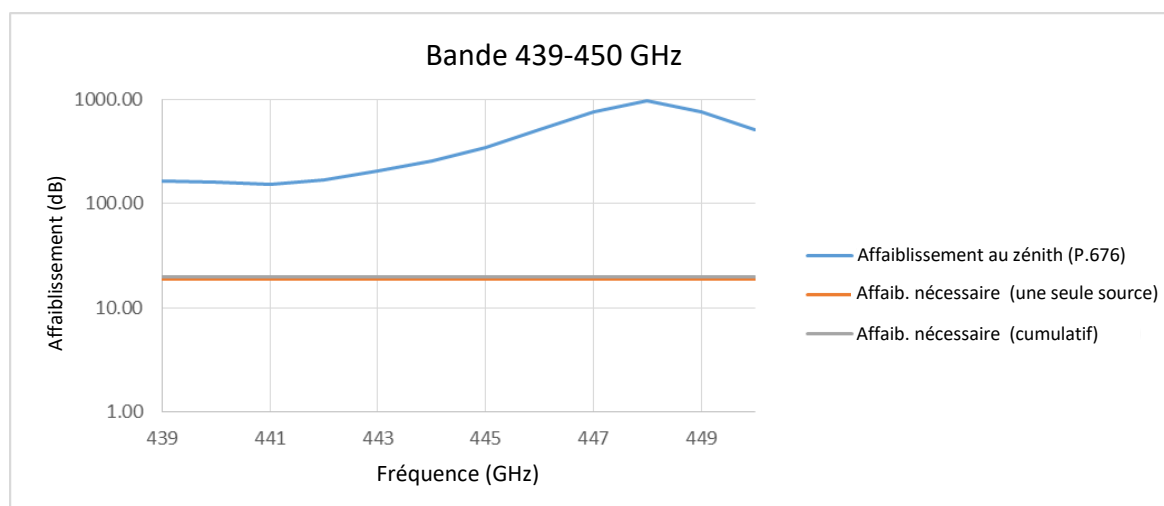
TABLEAU A4-20

**Affaiblissement minimum dû à l'atmosphère au zénith
(439-467 GHz)**

Système du SETS		TYPE ICI	TYPE TWICE	TYPE NADIR	TYPE GOMAS	TYPE GOMAS	
Fréquence centrale	GHz	453	453	453	453	453	
Altitude de l'orbite	km	817	400	817	35684	35684	
Angle par rap. au nadir	°	53.0	53.0	0.0	0.0	8.5	
Longueur du trajet oblique	km	1563	706	817	35684	40197	
Affaiblissements en espace libre	dB	209.4	202.5	203.8	236.6	237.6	
Élévation par rap. au sol	°	25.7	31.9	90.0	90.0	12.7	
Affaiblis. dus à l'atmosphère	dB						
Gain d'antenne	dBi	55	48	55	79	79	
Critères de protection	dBW/200 MHz	-157	-157	-157	-157	-157	
Répartition	dB	3	3	3	3	3	
Brouillage maximum au sol	dBm/200 MHz	24.4	24.5	18.8	27.6	28.6	
Puissance maximale du SF au sol (une seule source)	dBW/200 MHz	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	
Puissance maximale du SF au sol (cumulatif)	dBm/200 MHz	59.8	56.3	38.6	43.0	64.2	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (une seule source)	dB	35.6	35.5	41.2	32.4	31.4	
Affaiblissement dû à l'atmosphère nécessaire (cumulatif)	dB	35.4	31.8	19.8	15.4	35.6	MAX
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (une seule source)	dB	15.4	18.7			6.9	18.7
Affaiblissement équivalent dû à l'atmosphère au zénith nécessaire (cumulatif)	dB	15.3	16.8	19.8	15.4	7.8	19.8

FIGURE A4-46

Comparaison entre les affaiblissements nécessaires et les affaiblissements indiqués dans la Recommandation UIT-R P.676 (439-450 GHz)



Cette Figure montre que l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la bande 439-450 GHz est suffisant pour garantir la protection du SETS (passive).

La bande 439-450 GHz pourrait être utilisée pour les applications du SF.

A4.6.6 Résumé de l'étude 5

Globalement, au sein de la bande 275-450 GHz, les bandes suivantes actuellement identifiées pour le SETS (passive) au numéro **5.565** du RR ne peuvent pas être mis à la disposition du SF:

- 296-306 GHz
- 313-320 GHz
- 331-356 GHz.

Dans les autres parties de la gamme 275-450 GHz, l'emploi du SF peut être envisagé.

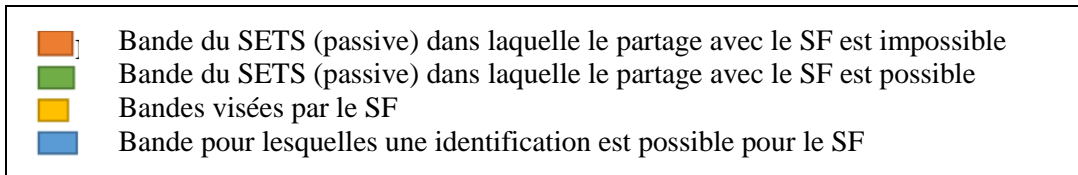
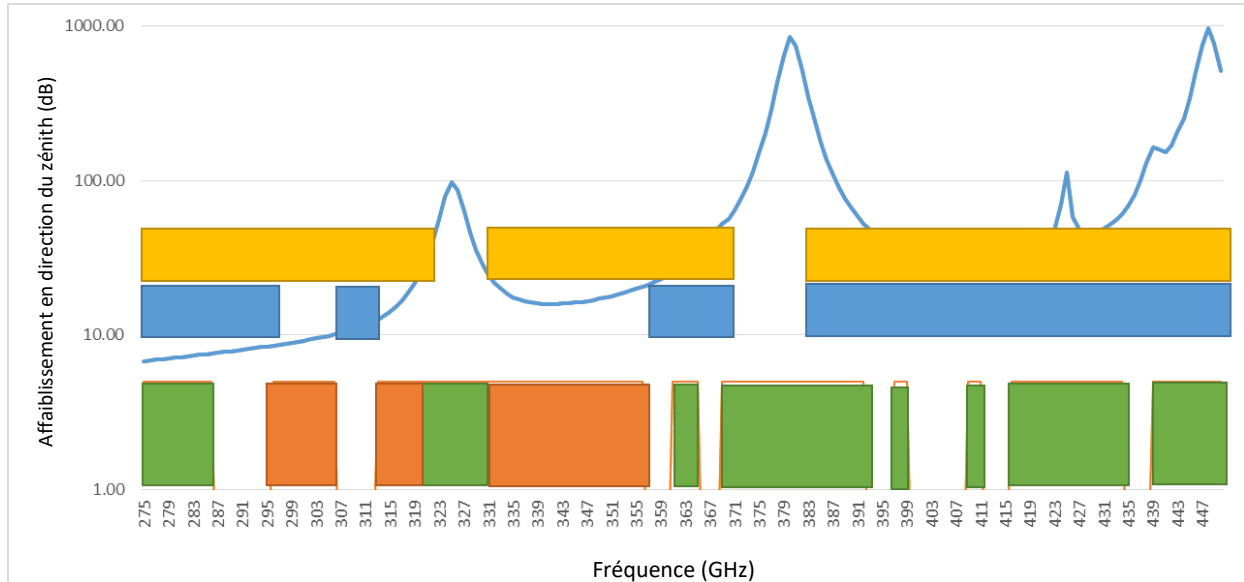
Compte tenu des bandes potentiellement visées par le SF (275-320 GHz, 330-370 GHz et 380-445 GHz), les bandes suivantes pourraient donc être utilisées par le SF:

- 275-296 GHz (largeur de 21 GHz), qui permettrait d'offrir au SF un bloc de fréquences continu du fait que la bande 252-275 GHz a déjà été attribuée à celui-ci;
- 306-313 GHz (largeur de 7 GHz);
- 356-370 GHz (largeur de 14 GHz);
- 380-445 GHz (largeur de 65 GHz).

Ces bandes seraient suffisamment éloignées entre elles pour respecter les exigences du SF en termes de spectre (50 GHz).

La situation peut être résumée par la Fig. A4-47.

FIGURE A4-47



A4.6.7 Annexe 1 à l'étude 5 – Méthode employée pour déduire le nombre de liaisons du SF dans le cadre d'un déploiement en fonction de la population

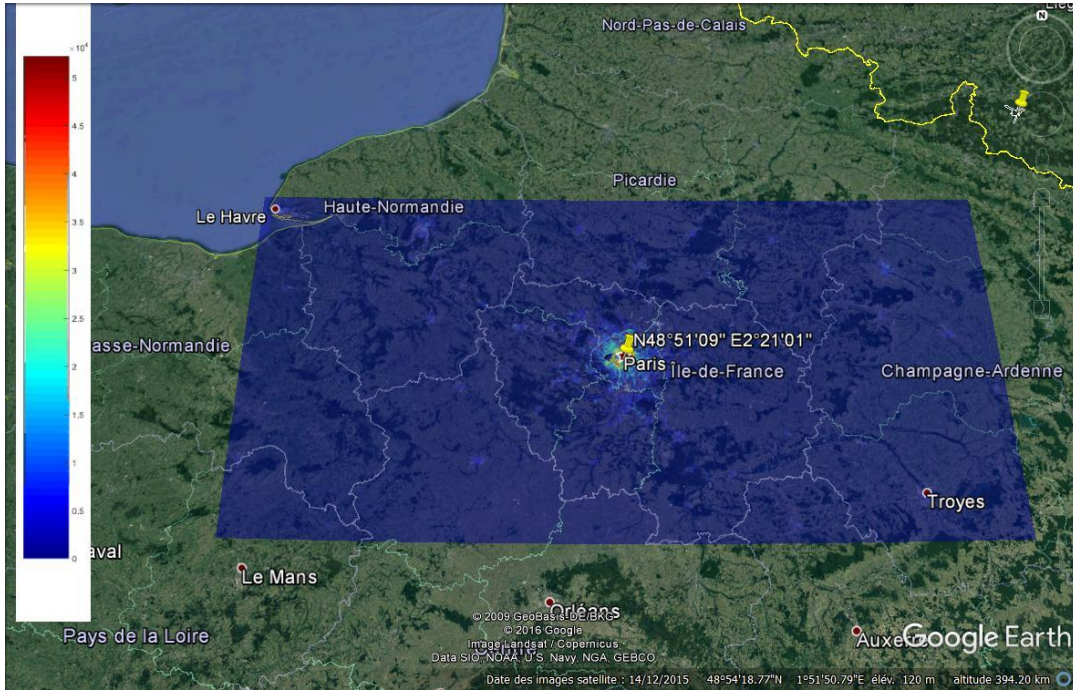
A4.6.7.1 Zone définie pour l'étude

La zone visée par l'étude a été définie de la manière suivante:

- centrée sur Paris (France);
- 340 km d'Est en Ouest;
- 161 km du Sud au Nord;
- superficie totale de 54 740 km².

Cette zone est décrite dans la Fig. A4-48 ci-dessous:

FIGURE A4-48



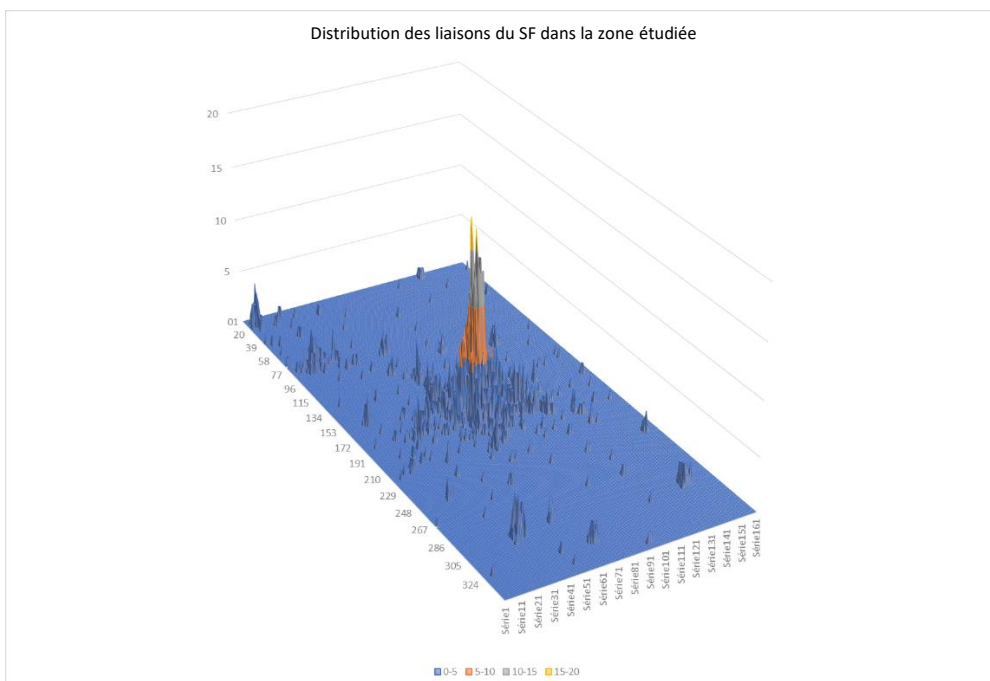
A4.6.7.2 Distribution des liaisons du SF dans l'espace

Compte tenu des éléments précités, les liaisons du SF ont été distribuées dans l'ensemble de la zone étudiée.

Pour chaque km², le nombre de liaisons du SF est déterminé en multipliant le nombre d'habitants par la densité du SF par habitant (par ex. 0,000351), le nombre final étant arrondi à l'entier le plus proche.

Au total, 4 415 liaisons du SF ont été distribuées sur la zone. La Fig. A4-49 illustre la distribution de ces liaisons dans l'espace sur l'ensemble de la zone.

FIGURE A4-49

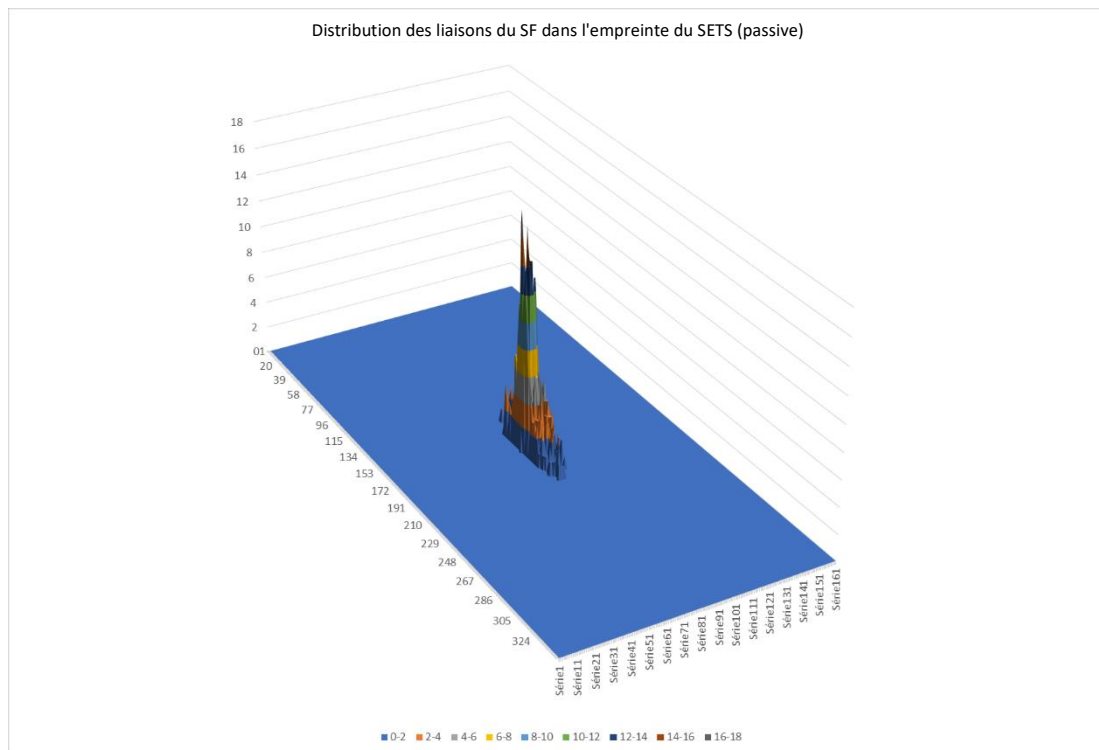


A4.6.7.3 Distribution des liaisons du SF dans l'empreinte du SETS (passive)

Pour chaque capteur du SETS (passive), le nombre de liaisons du SF dans l'empreinte est déterminé en plaçant l'empreinte au centre de la zone étudiée.

La Fig. A4-50 illustre la distribution des liaisons du SF dans l'espace de l'empreinte du SETS (passive), à partir de l'exemple du système GOMAS (faible altitude). Elle montre que 1 903 liaisons du SF ont été déployées dans l'empreinte.

FIGURE A4-50



Le Tableau A4-21 indique le nombre de liaisons du SF présentes dans l'empreinte de chaque système du SETS (passive).

TABLEAU A4-21

	Type ICI	Type TWICE	Type NADIR	Type GOMAS (nadir)	Type GOMAS (faible altitude)
I FOV (km ²)	200	50	30	110	890
En fonction de la population (nombre de liaisons)	1 030	393	228	874	1 903

Annexe 5

Études de partage entre les applications du SF et le service de radioastronomie

A5.1 Introduction

Selon le Rapport UIT-R RA.2189-1, intitulé «Partage entre le service de radioastronomie et les services actifs dans la gamme de fréquences 275-3 000 GHz», ce partage est possible si l'on tient compte des caractéristiques atmosphériques en fonction de l'altitude au-dessus du niveau de la mer ainsi que de la directivité de l'antenne de l'émetteur. Il est rappelé dans ce Rapport que les sites du service de radioastronomie (SRA) sont généralement situés à des altitudes élevées, où l'affaiblissement dû à l'atmosphère est considérablement plus faible qu'au niveau de la mer, et qu'il est donc important d'évaluer les possibilités de partage au cas par cas. S'il est géométriquement possible, le fait d'illuminer directement des sites de radioastronomie au moyen d'émetteurs situés près du niveau de la mer produirait probablement des effets d'absorption atmosphérique bien plus importants et réduirait donc les exigences de séparation géographique pour une puissance d'émission donnée. Dans le présent Rapport, nous n'avons pas distingué les applications du SMT et celles du SF; nous nous sommes contentés de prendre en considération un seul niveau de puissance d'émetteur correspondant à un service actif générique. Il pourrait donc être nécessaire de mener des études de partage plus détaillées, portant notamment sur les effets cumulatifs, si l'on prévoit un grand nombre d'applications. On trouvera dans la présente Annexe une évaluation de la faisabilité du partage entre le SRA et les applications du SF et du SMT dans les bandes de fréquences identifiées pour le SRA au numéro 5.565 du RR, compte tenu des paramètres spécifiques indiqués dans le § 5 du présent Rapport.

A5.2 Étude 1: Analyse de compatibilité entre le SRA et le SF dans la bande de fréquences 275-450 GHz

A5.2.1 Hypothèses et configurations géométriques

Pour le SF (voir le Rapport UIT-R SM.2450 (ci-après «le Rapport»), Tableau 7, § 5.2.1):

Puissance en sortie du SF: 0-20 dBm;

Largeur de bande du SF: 24 GHz;

Diagramme d'antenne du SF: Recommandation UIT-R F.699-7, $D/\lambda > 100$, gain de crête 50 dBi;

p.i.r.e. de crête du SF: 50-70 dBm.

Hypothèses de propagation

Nous avons calculé l'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère en appliquant la méthode par sommation des contributions des raies d'absorption présentée dans la Recommandation UIT-R P.676-11 (voir Fig. A5-1).

Nous avons employé les propriétés mesurées du télescope ALMA situé à $h = 4,8$ km pour définir les paramètres d'entrée prévus dans la Recommandation UIT-R P.676: $T = 273\text{K}$; $p_{\text{Ha}} = 551$; $e(p_{\text{H}_2\text{O}}) = 1,14$. Nous avons également employé l'affaiblissement mesuré en direction du zénith à 345 GHz, en le combinant avec la procédure permettant de déterminer l'affaiblissement en direction du zénith à partir d'un affaiblissement linéique ambiant donné à des fréquences inférieures à 350 GHz (Recommandation UIT-R P.676, § 2.2), afin de déduire l'affaiblissement linéique ambiant (dB/km) au site ALMA, comme illustré dans la Fig. A5-1.

Nous avons ensuite ramené ces résultats à une échelle de $h = 2,8$ km et une altitude de $h = 0$ en appliquant une hauteur d'échelle pour l'air sec de 8,4 km et une hauteur d'échelle pour la vapeur d'eau de 2 km, conformément aux indications de la Recommandation UIT-R P.676 concernant les altitudes plus faibles.

Enfin, nous avons employé des configurations géométriques en visibilité directe sans affaiblissement dû à des groupes d'obstacles ou aux bâtiments.

Critères de protection de la radioastronomie (voir § 5.3)

Les seuils de puissance à l'entrée ont été repris du Tableau 9, colonne 8 avec une interpolation linéaire dans le domaine des fréquences.

La largeur de bande du récepteur du SRA était de 8 GHz; 1/3 seulement de la puissance du SF était reçue par le SRA.

NB: Les critères de protection du SRA sont données pour un gain de 0 dBi et ne dépendent pas de l'orientation ni du diagramme de faisceau de l'antenne du SRA.

Choix des fréquences

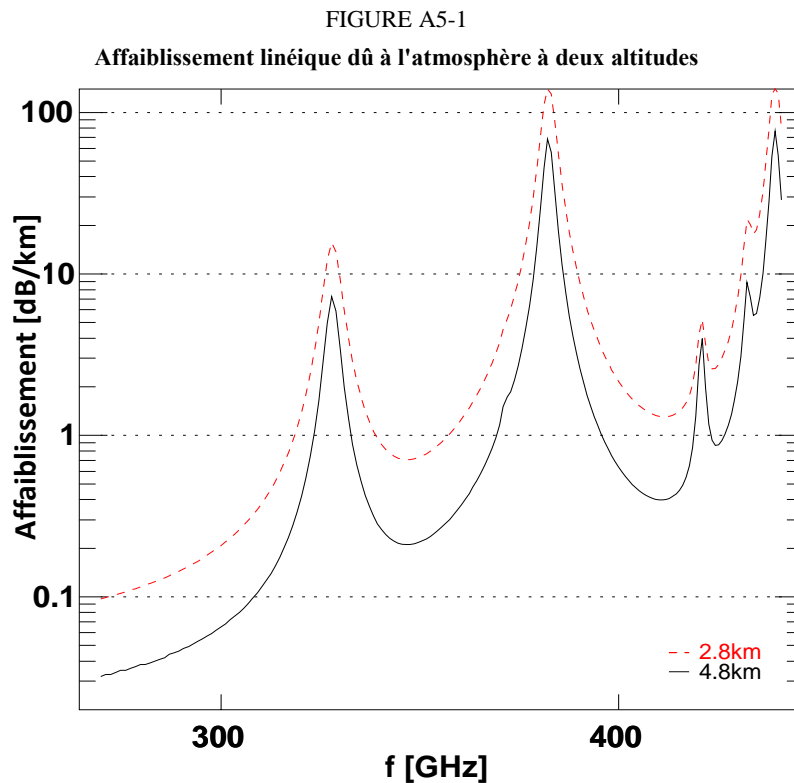
Nous avons choisi la fréquence 275 GHz pour montrer que la transparence était élevée à l'extrémité inférieure de la bande. L'examen à cette fréquence a également pris en compte la compatibilité avec le fonctionnement du SRA dans les bandes immédiatement adjacentes en-dessous de 275 GHz (voir le § 7.2.7 du Rapport).

Nous avons aussi choisi la fréquence 345 GHz car elle présente une importance primordiale pour les SRA: en effet, c'est la fréquence de repos de la transition $J = 3-2$ du monoxyde de carbone (CO).

Nous avons enfin choisi la fréquence 412 GHz pour illustrer l'utilisation d'une fréquence qui est proche de l'extrémité supérieure de la bande et qui se trouve dans une fenêtre atmosphérique.

Configurations géométriques:

Deux configurations géométriques ont été prises en considération. Dans la partie gauche de la Fig. A5-2 (pour la géométrie) et de la Fig. A5-3 (pour les résultats de la propagation), le SRA et le SF fonctionnent dans le même plan sur un sol plat, le faisceau du SF est horizontal et plusieurs angles du SF par rapport à l'azimut sont envisagés par rapport à l'antenne du SRA. Pour chaque angle par rapport à l'azimut, nous avons calculé une distance minimum cohérente avec les critères de protection du SRA, compte tenu de l'affaiblissement dû à l'étalement, du gain d'antenne du SF et de l'affaiblissement linéique en dB/km. Dans la partie droite des Fig. A5-2 et A5-3, le SRA fonctionne à la hauteur h et le SF à la hauteur 0. Le faisceau du SF est fixe en direction de l'azimut du fonctionnement du SRA et se déplace de haut en bas. L'angle d'élévation maximum de l'antenne du SF est calculé pour chaque séparation horizontale en respectant les critères de protection du SRA. Lorsqu'aucune solution compatible n'est trouvée, la courbe n'est pas tracée.



La courbe correspondant à l'altitude de 4,8 km a été établie à partir de l'opacité mesurée en direction du zénith au télescope ALMA à cette altitude. Celle de l'altitude de 2,8 km a été établie à partir de la mesure au télescope ALMA, ramenée à l'échelle au moyen de la hauteur d'échelle normalisée pour l'atmosphère.

A5.2.2 Résultats

A5.2.2.1 Fonctionnement à la même altitude

Les résultats sont indiqués dans la partie gauche de la Fig. A5-3 pour la géométrie illustrée dans la partie gauche de la Fig. A5-2, dans laquelle le SF et le SRA fonctionnent à la même altitude. Les sites ALMA et du pôle Sud sont suffisamment grands pour permettre cette disposition, et il n'y a pas de groupes d'obstacles dans ces zones arides. Le calcul est simple: l'affaiblissement linéique (en dB/km) est constant dans l'axe de visibilité directe qui sépare le SRA et le SF, et à chaque angle du faisceau du SF par rapport à l'azimut, nous avons employé un solveur racine en plusieurs itérations pour trouver la distance à laquelle les critères de compatibilité sont respectés, compte tenu du diagramme de faisceau pertinent fourni dans la Recommandation UIT-R F.699.

Lorsque le faisceau du SF est orienté en direction du SRA, il convient de prévoir de grandes distances de séparation dans tous les cas. On peut néanmoins prévoir des distances de séparation inférieures à 10 km lorsque le faisceau du SF est éloigné du SRA d'un angle supérieur à $10^\circ - 40^\circ$ environ.

La Fig. A5-4 montre les effets d'une variation de la puissance à l'entrée de l'antenne du SF. Lorsque le faisceau du SF pointe dans une direction proche du SRA, les distances de séparation sont importantes, l'affaiblissement sur le trajet est dominé par l'affaiblissement dû à l'atmosphère et la distance de séparation nécessaire diminue lentement à mesure que la puissance est réduite.

A5.2.2.2 SRA seul en altitude

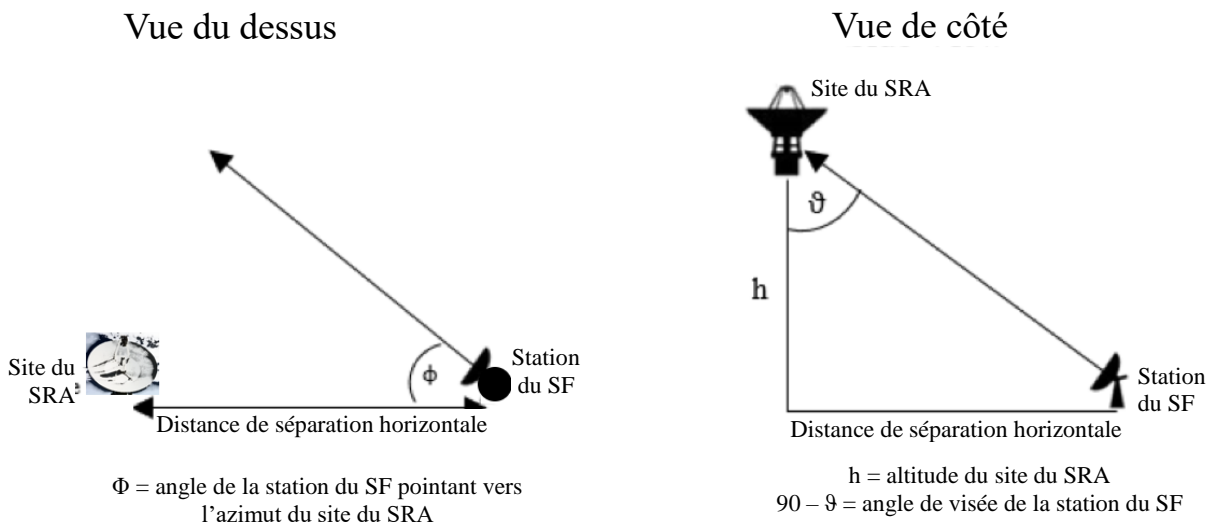
Les résultats sont indiqués dans la partie droite de la Fig. A5-3 pour la géométrie illustrée dans la partie droite de la Fig. A5-2. Dans cette disposition, le radiotélescope est à une altitude $h = 2,8$ ou $h = 4,8$ km tandis que le SF fonctionne à une altitude $h = 0$. Le faisceau du SF est orienté en direction de l'azimut du SRA et son altitude peut varier jusqu'à une valeur maximale déterminée de manière numérique et indiquée sur l'axe vertical de la partie droite de la Fig. A5-3. L'affaiblissement est calculé en intégrant de manière numérique le trajet oblique entre le SF et le SRA, en appliquant les hauteurs d'échelle normalisées pour l'air sec et la vapeur d'eau dans l'atmosphère indiquées dans la Recommandation UIT-R P.676.

À mesure que la séparation horizontale augmente, un phénomène de concurrence se produit lorsque les effets combinés de l'augmentation de l'affaiblissement dû à l'étalement en espace libre et de l'affaiblissement dû à l'atmosphère sont compensés par le fait que le SRA est vu plus près de l'axe de visée du faisceau du SF, qui est orienté horizontalement.

Le fonctionnement du SRA à haute altitude est protégé contre le fonctionnement du SF à une altitude nulle à 412 GHz: le fonctionnement de ces deux services est compatible pour toutes les séparations horizontales et les élévations du faisceau du SF. À 275 GHz, le SF et le SRA ne sont compatibles que lorsque la séparation horizontale est supérieure à 60 km. Dans les fréquences intermédiaires, le SF a besoin d'une distance de séparation légèrement supérieure à 1 km pour un SRA fonctionnant à l'altitude plus faible de $h = 2,8$ km.

FIGURE A5-2

Explication des configurations géométriques employées dans la Fig. A5-3

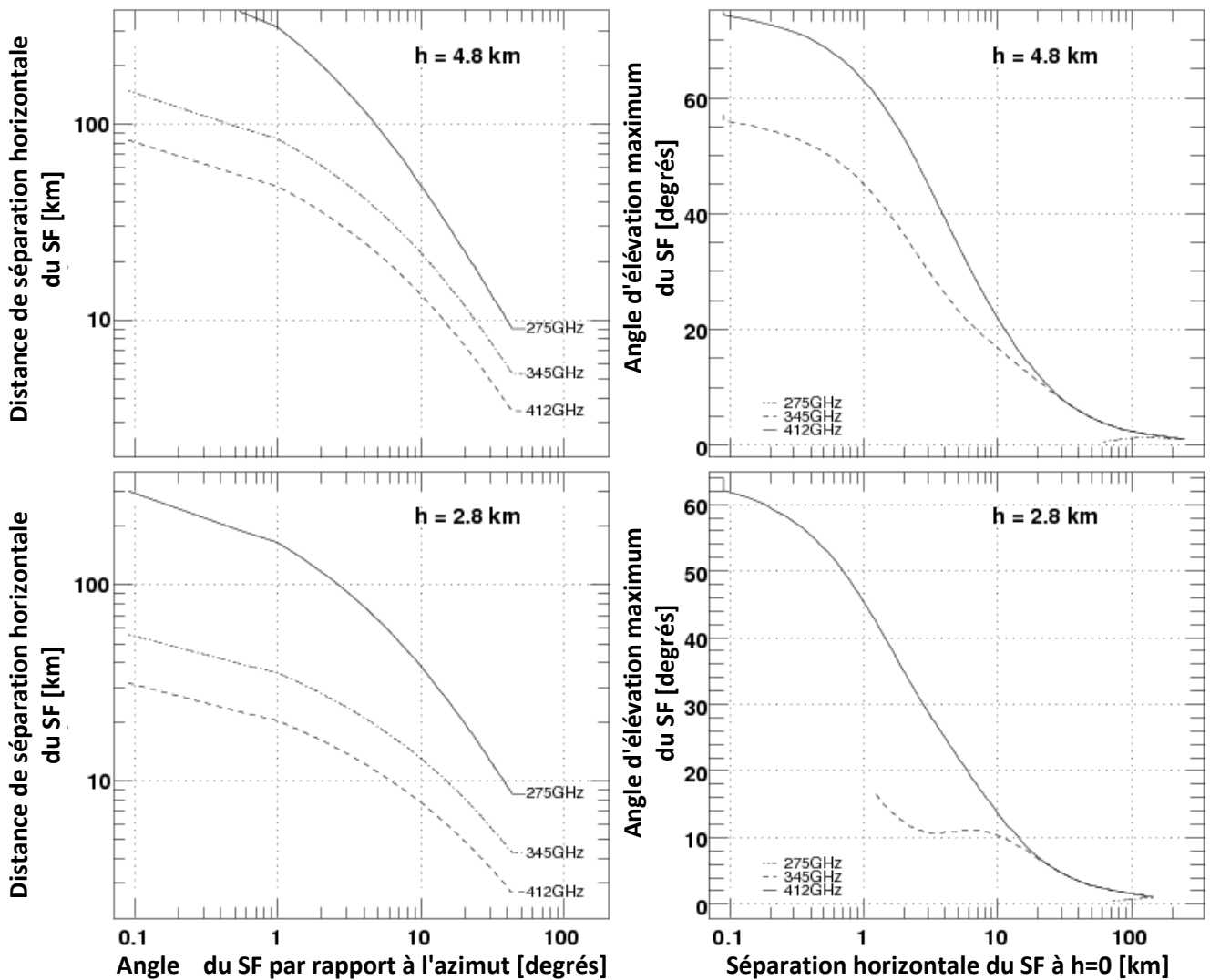


À gauche: vue du dessus de la configuration géométrique employée dans la partie gauche de la Fig. A5-3. Le SRA et le SF se trouvent à la même altitude géographique, le faisceau du SF est horizontal et dirigé à un angle ϕ par rapport à l'azimut du radiotélescope.

À droite: vue de côté de la configuration géométrique employée pour les versants de montagne dans la partie droite de la Fig. A5-3. Le SRA se trouve à l'altitude h et le SF à une altitude nulle. Le faisceau du SF est dirigé vers l'azimut du SRA et le télescope est vu à un angle de visée de $90 - \theta$ lorsque le faisceau du SF est horizontal.

FIGURE A5-3

Résultats des calculs pour les configurations géométriques illustrées dans la Fig. A5-2

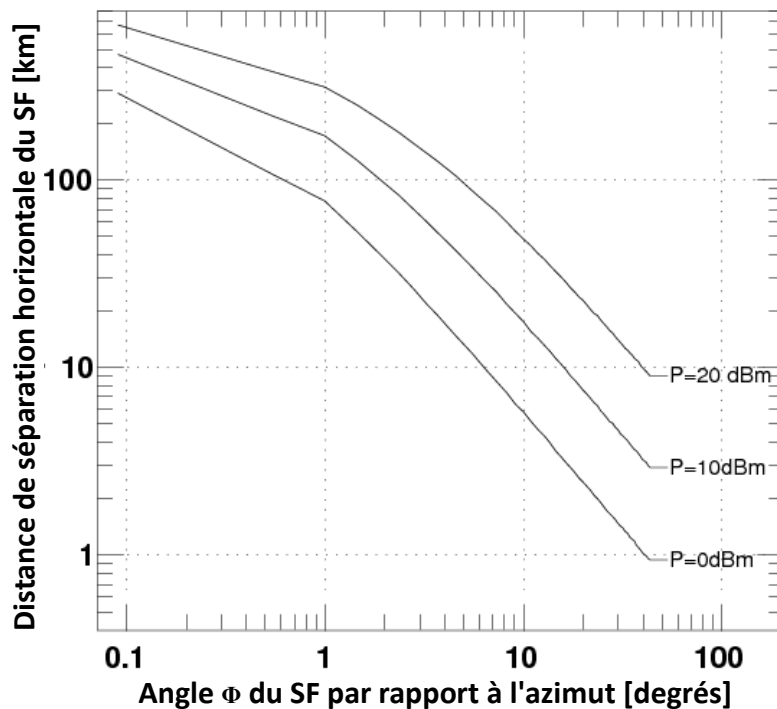


À gauche: concerne la géométrie illustrée dans la partie gauche de la Fig. A5-2, dans laquelle le SF et le SRA se trouvent à la même altitude et le faisceau du SF est maintenu à l'horizontale, tout en étant variable en azimut. La distance de séparation nécessaire est indiquée en fonction de l'angle du SF par rapport à l'azimut de l'antenne du SRA. Les résultats correspondent à une altitude de 4,8 km pour la Figure du haut et de 2,8 km pour la Figure du bas; dans les deux cas, les fréquences employées sont 275, 345 et 412 GHz.

À droite: concerne la géométrie illustrée dans la partie droite de la Fig. A5-2, dans laquelle le SF se trouve à une altitude nulle et le SRA à une altitude $h = 4,8$ km (fig. du haut) ou $h = 2,8$ km (fig. du bas), et l'angle entre l'antenne du SF et l'azimut du SRA est nul. La Figure indique l'angle d'élévation maximum du faisceau du SF pour chaque séparation horizontale: lorsqu'aucune solution compatible n'existe, la courbe n'est pas tracée. L'utilisation la plus restrictive est observée à la fréquence 275 GHz. À une altitude $h = 2,8$ km, l'angle d'élévation du SF devrait être limité à 10 degrés pour une séparation horizontale du SF supérieure à 11 km. En revanche, à une altitude de $h = 4,8$ km, l'angle d'élévation varie entre 45 degrés (pour une séparation de 1 km) et environ 10 degrés (pour une séparation d'environ 20 km). D'autres résultats des calculs de géométrie de la Fig. A5-2 sont proposés ci-après:

FIGURE A5-4

Autres résultats des calculs pour les configurations géométriques de la Fig. A5-2. Les calculs illustrés dans la partie supérieure gauche de la Fig. A5-3 pour une altitude $h = 4,8$ km et une fréquence $f = 275$ GHz sont effectués pour des puissances du SF à l'entrée de 0, 10 et 20 dBm avec un gain de crête de l'antenne du SF de 50 dBi



Les calculs illustrés dans la partie supérieure gauche de la Fig. A5-3 pour une altitude $h = 4,8$ km et une fréquence $f = 275$ GHz sont effectués pour des puissances du SF à l'entrée de 0, 10 et 20 dBm avec un gain de crête de l'antenne du SF de 50 dBi.

A5.2.3 Résumé

Dans la bande 275-450 GHz, les affaiblissements dus à l'atmosphère ne suffisent pas, indépendamment des affaiblissements dus à l'espace libre, pour garantir la compatibilité entre les activités du SF et du SRA en l'absence de toute autre considération.

En cas d'exploitation à une même altitude géographique, il est indispensable que les faisceaux du SF ne soient pas pointés trop près d'un site du SRA. La dimension de l'angle d'évitement va dépendre, entre autres variables, des particularités du diagramme de faisceau du SF employé dans toutes les situations. Si les activités du SRA sont effectuées à une altitude élevée avec une visibilité directe sur des activités du SF se déroulant à une altitude très inférieure, les faisceaux du SF peuvent être dirigés en azimut vers le site du SRA à toutes les fréquences dès lors que l'angle d'élévation du SF est inférieur ou égal à 10 degrés, ou si l'on prévoit des séparations horizontales suffisantes.

Les scénarios fondés sur des brouillages cumulatifs dus au déploiement de plusieurs sources du SF nécessiteront une modélisation détaillée qui tienne compte des détails de chaque situation.

A5.3 Étude 2: Analyse de compatibilité entre le SF et le SRA dans la bande de fréquences 275-325 GHz

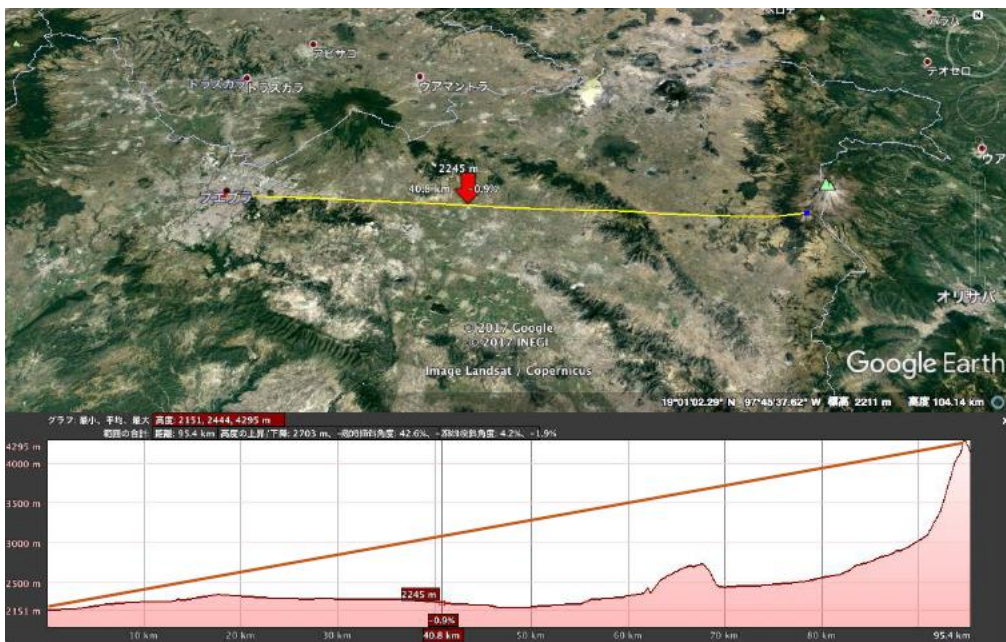
Comme il est indiqué dans le Rapport UIT-R RA.2189, le scénario de brouillage le plus défavorable est celui d'antennes émettrices de stations du SMT ou du SF qui pointent directement vers un radiotélescope, les émetteurs et le télescope étant tous situés à une altitude élevée.

Cependant, la puissance en sortie et le gain d'antenne des stations du SMT devraient être très inférieurs à ceux des applications du SF. Dès lors, la présente étude de partage porte surtout sur le brouillage causé par des stations du SF en extérieur au service de radioastronomie.

A5.3.1 Sites du SRA

On trouvera dans le Tableau 11 un résumé des sites de radioastronomie généralement situés au sommet de hautes montagnes dans des zones isolées. Ainsi, la distance entre Grenade (population 0,24 M) et le Pico de Veleta, entre Grenoble (0,15 M) et le Plateau de Bure, ou encore entre Puebla (2,5 M) et la Sierra Negra est respectivement de 20 km, 60 km et 90 km. Il est impossible de déployer des liaisons de raccordement vers l'avant et vers l'arrière dans la bande 300 GHz à Grenade et à Grenoble en raison de leur faible population. Ces liaisons peuvent être envisagées dans la zone urbaine dense de Puebla, compte tenu de sa nombreuse population, mais pas dans les deux autres villes dont le trafic est insuffisant. La Fig. A5-5 montre la topologie entre Puebla et le *Large Millimeter Telescope* (LMT) de Sierra Negra. On peut envisager d'utiliser un trajet de propagation en visibilité directe, dont la distance serait d'environ 40 km.

FIGURE A5-5
Topologie entre Puebla et le LMT à Sierra Negra



A5.3.2 Protection des stations du SRA contre les stations du SF fonctionnant dans la bande 275-350 GHz

La Fig. A5-6 illustre les distances de séparation minimales entre une station du SF, dont la puissance en sortie est de 20 dBm et le gain d'antenne de 50 dB (comme indiqué dans le Tableau 7), et un radiotélescope. Le Rapport UIT-R RA.2189-1 contient un autre scénario terrestre proche du cas le plus défavorable de brouillage causé au service de radioastronomie. Ce scénario a également été employé pour effectuer des calculs sans affaiblissement dû aux précipitations et à une atmosphère brumeuse; toutefois, l'altitude des antennes du SF et du SRA a été modifiée, passant de 0 à 4 000 m, afin d'évaluer la distance de séparation. La distance de séparation minimale est calculée à partir de l'équation (1):

$$P_R = P_T + G_T + G_R - P_L - P_{clutter} - A \geq SH \tag{1}$$

où:

- P_R : puissance reçue sur le site du radiotélescope
- P_T : puissance émise du SF, telle qu'indiquée dans le Tableau 2
- G_T : gain d'antenne du SF, tel qu'indiqué dans le Tableau 2
- G_R : gain d'antenne du radiotélescope dans la direction de l'émetteur, qui est par hypothèse de 0 dBi conformément à la Recommandation UIT-R RA.769
- P_L : affaiblissement en espace libre conformément à la Recommandation UIT-R P.525
- $P_{clutter}$: affaiblissement dû à des groupes d'obstacles, tel qu'indiqué dans la Fig. A2-3
- A : affaiblissement dû à l'atmosphère conformément à la Recommandation UIT-R P.676
- SH : seuil de brouillage préjudiciable aux observations de radioastronomie, tel qu'indiqué dans le Tableau 9.

Les résultats des calculs indiquent clairement qu'il est possible d'avoir une distance de séparation inférieure à 45 km, soit moins que la distance entre Puebla et la Sierra Negra, et même moins que la distance entre Grenoble et le Plateau de Bure, si l'on tient compte dans les calculs de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles, dont une estimation est proposée dans l'Annexe 2. Toutefois, il est préférable, pour évaluer la distance de séparation, de prendre en compte la totalité de la distribution des groupes d'obstacles. Comme les niveaux de brouillages préjudiciables aux observations de radioastronomie indiqués dans le Tableau 9 ne concernent que les fréquences entre 265 GHz et 305 GHz, les niveaux concernant les fréquences entre 265 GHz et 345 GHz sont interpolés au moyen d'une approximation linéaire, comme indiqué dans le Tableau A5-1. Il convient de noter que la protection offerte par le terrain et la déviation de la direction de l'antenne du SF par rapport à la direction de la station du SRA, ainsi que le changement d'altitude de 3 000 m à 0 m pour la station du SF peuvent permettre de réduire encore davantage la distance de séparation. La Fig. A5-7 montre la distance de séparation en l'absence d'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles.

FIGURE A5-6

Distance de séparation minimale intégrant l'estimation de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles entre la station du SF et le radiotélescope, compte tenu du seuil de brouillage de la radioastronomie indiqué dans le Tableau A5-1

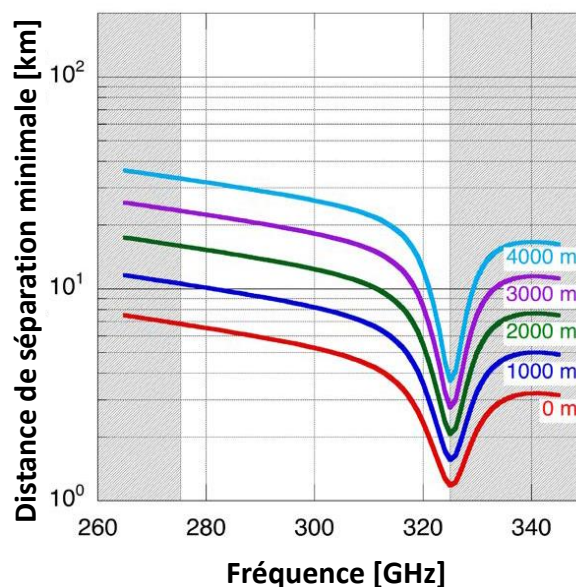


FIGURE A5-7

Distance de séparation en l'absence d'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles entre la station du SF et le radiotélescope, compte tenu du seuil de brouillage de la radioastronomie indiqué dans le Tableau A5-1

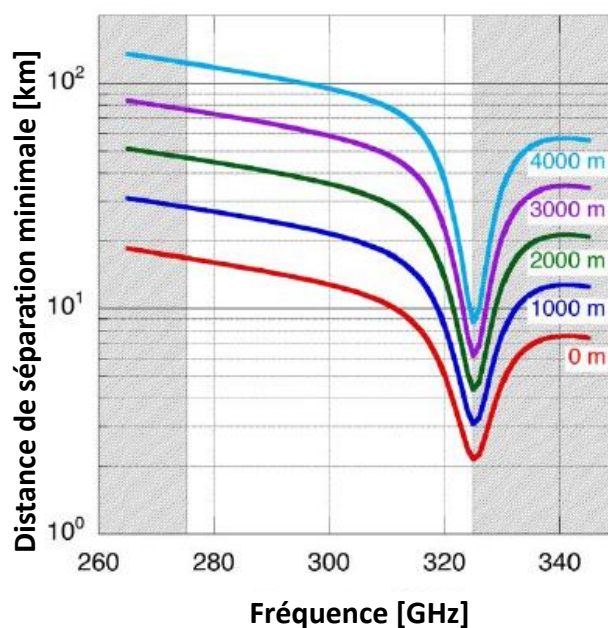


TABLEAU A5-1

Interpolation des seuils de brouillage calculés à partir du Tableau 9

Fréquence (GHz)	S _H (dB(W/(m ² · Hz)))	Fréquence (GHz)	S _H (dB(W/(m ² · Hz)))	Fréquence (GHz)	S _H (dB(W/(m ² · Hz)))
265	-195,4 ⁽¹⁾	295	-194,05	325	-192,7
270	-195,175	300	-193,825	330	-192,475
275	-194,95	305	-193,6	335	-192,25
280	-194,725	310	-193,375	340	-192,025
285	-194,5	315	-193,15	345	-191,8 ¹
290	-194,275	320	-192,925		

⁽¹⁾ Les seuils correspondant aux fréquences comprises entre 265 GHz et 345 GHz ont été repris du Tableau 9; les autres ont été calculés par interpolation linéaire pour obtenir une approximation.

A5.3.3 Résumé de l'étude 2

L'affaiblissement dû à l'atmosphère ne suffit pas pour garantir la compatibilité entre des stations du SF et du SRA en l'absence de toute autre technique. Cependant, la protection offerte par le terrain et la déviation de la direction de l'antenne du SF par rapport à la direction de la station du SRA, ainsi que le changement d'altitude de 3 000 m à 0 m pour la station du SF peuvent permettre de réduire encore davantage la distance de séparation. Ces conditions particulières sont nécessaires pour protéger la station du SRA mais doivent être examinées au cas par cas.

A5.4 Étude 3: Protection des stations du SRA contre les stations du SF fonctionnant dans la bande 275-450 GHz

Les calculs ont été effectués au moyen de l'équation (1) indiquée dans l'étude 2.

Le détail des calculs concernant les différents scénarios envisagés figure dans le Tableau A5-2.

FIGURE A5-8

Distance de séparation minimale intégrant l'estimation de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles entre la station du SF et le radiotélescope, compte tenu du seuil de brouillage de la radioastronomie indiqué dans le Tableau 9 (observation du continuum)

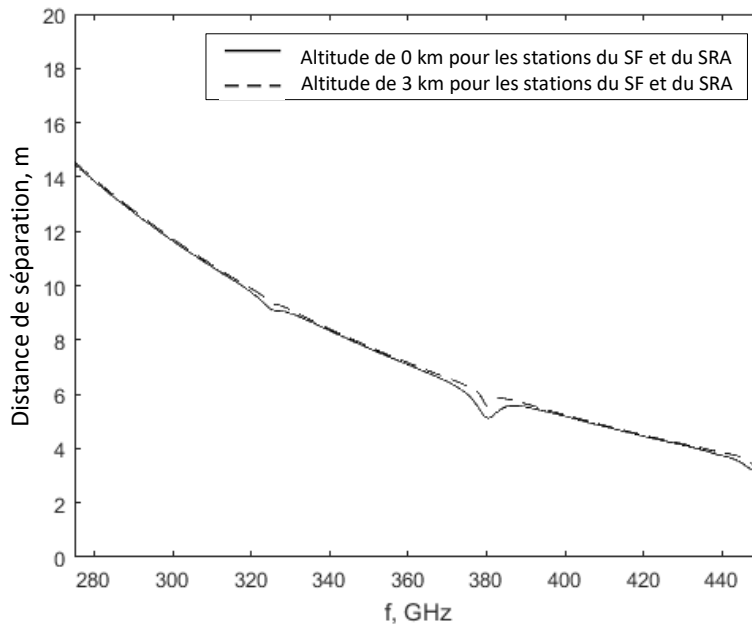


FIGURE A5-9

Distance de séparation minimale intégrant l'estimation de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles entre la station du SF et le radiotélescope, compte tenu du seuil de brouillage de la radioastronomie indiqué dans le Tableau 10 (observations des raies spectrales)

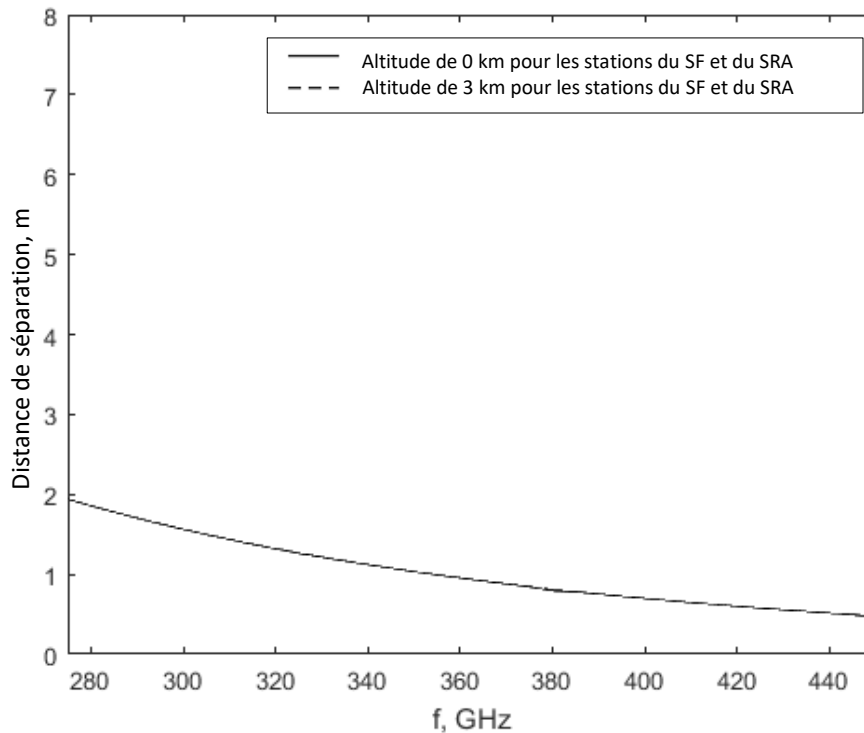


FIGURE A5-10

Distance de séparation minimale sans l'estimation de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles entre la station du SF et le radiotélescope, compte tenu du seuil de brouillage de la radioastronomie indiqué dans le Tableau 9 (observation du continuum)

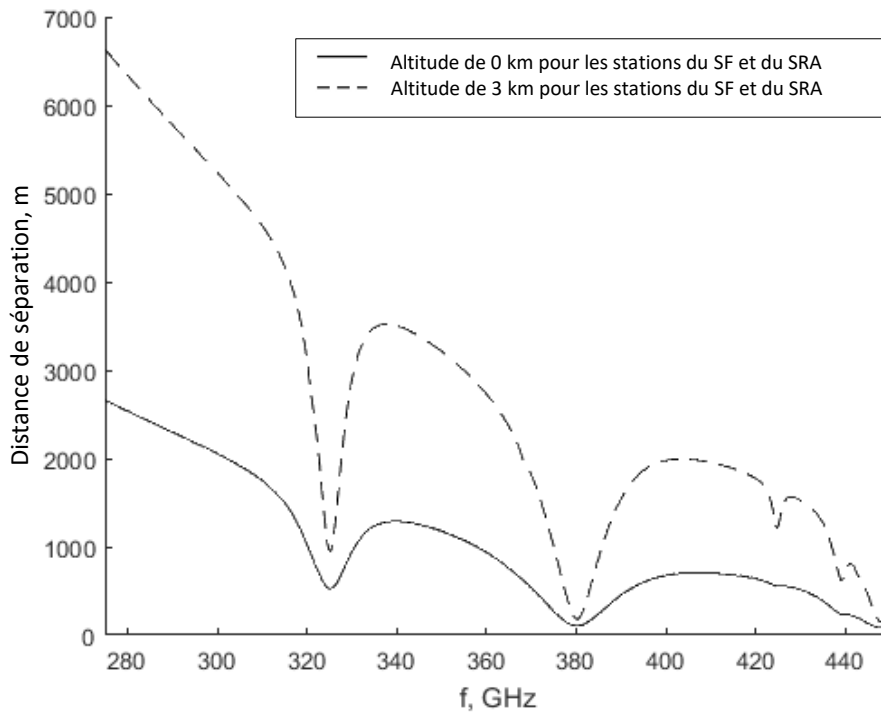


FIGURE A5-11

Distance de séparation minimale sans l'estimation de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles entre la station du SF et le radiotélescope, compte tenu du seuil de brouillage de la radioastronomie indiqué dans le Tableau 10 (observations des raies spectrales)

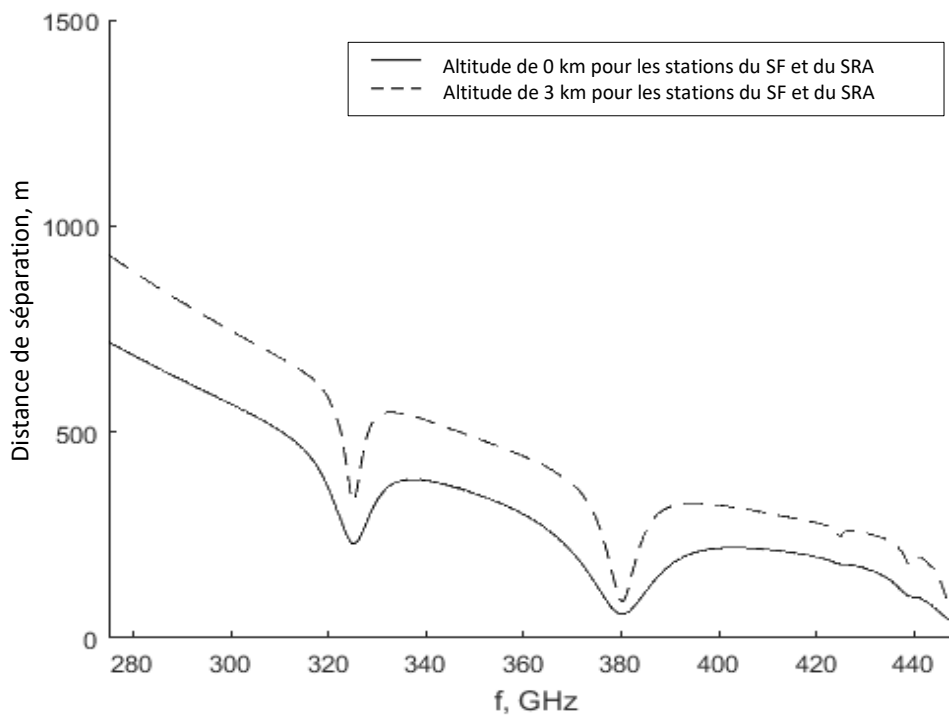


TABLEAU A5-2

Résultats des calculs de la distance de séparation

Fréquence (GHz)	Niveau de brouillage maximum (dBW/Hz)	PT + GT + GR (dBW/Hz)	Distance de séparation (m)	Affaiblissement dû à des groupes d'obstacles (dB)	Affaiblissement en espace libre (dB)	Affaiblissement dû à l'atmosphère (dB/km)
Observation du continuum						
275 (altitude 0 m)	-214,45	-53	14	47	102,69	3,6817
400 (altitude 0 m)	-208,8295	-53	5,1	47	97,31	9,3321
275 (altitude 3 km)	-214,45	-53	14	47	102,69	0,4274
400 (altitude 3 km)	-208,8295	-53	5,1	47	97,31	2,2811
275 (altitude 0 m)	-214,45	-53	2660	0	149,68	3,6817
400 (altitude 0 m)	-208,8295	-53	680	0	141,09	9,3321
275 (altitude 3 km)	-214,45	-53	6635	0	157,62	0,4274
400 (altitude 3 km)	-208,8295	-53	1980	0	150,37	2,2811
Observation des raies spectrales						
275 (altitude 0 m)	-194,95	-53	2	47	83,98	3,6817
400 (altitude 0 m)	-189,3295	-53	0,8	47	78,42	9,3321
275 (altitude 3 km)	-194,95	-53	2	47	83,98	0,4274
400 (altitude 3 m)	-189,3295	-53	0,8	47	78,42	2,2811
275 (altitude 0 m)	-194,95	-53	720	0	138,33	3,6817
400 (altitude 0 m)	-189,3295	-53	218	0	131,21	9,3321
275 (altitude 3 km)	-194,95	-53	930	0	140,56	0,4274
400 (altitude 3 km)	-189,3295	-53	320	0	134,54	2,2811

Compte tenu des résultats présentés, nous pouvons conclure à titre préliminaire que le partage entre le SF et le SETS (passive) peut être possible dans la bande de fréquences 275-450 GHz si l'on tient compte des conditions de propagation ainsi que de la protection offerte par le terrain ou de la déviation de la direction de l'antenne du SF par rapport à la direction de la station du SRA.

Il convient aussi de tenir compte de la faible probabilité que le diagramme de rayonnement de l'antenne du SF coïncide avec la direction de la station du SRA (pour un gain d'antenne de 50 dB, l'ouverture de faisceau de l'antenne est de 0,53 degrés selon la Recommandation UIT-R F.699, et pour une gain d'antenne de 24 dB elle est de 10,6 degrés). Les Figs. A5-12 et A5-13 présentent des courbes identiques à celles des Figs. A5-8 et A5-9, mais pour trois angles de discrimination de l'antenne du SF par rapport à la direction de la station du SRA (10, 20 et 30 degrés).

FIGURE A5-12

Distance de séparation minimale intégrant l'estimation de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles entre la station du SF et le radiotélescope, compte tenu du seuil de brouillage de la radioastronomie indiqué dans le Tableau 9 (observation du continuum) et de la discrimination de l'antenne

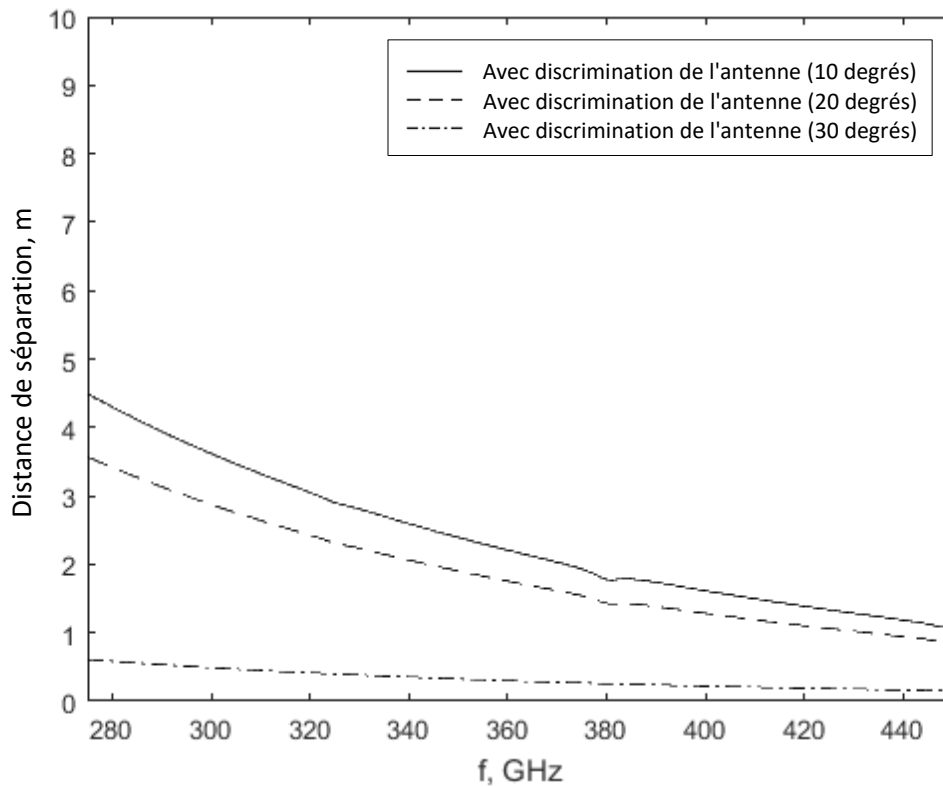
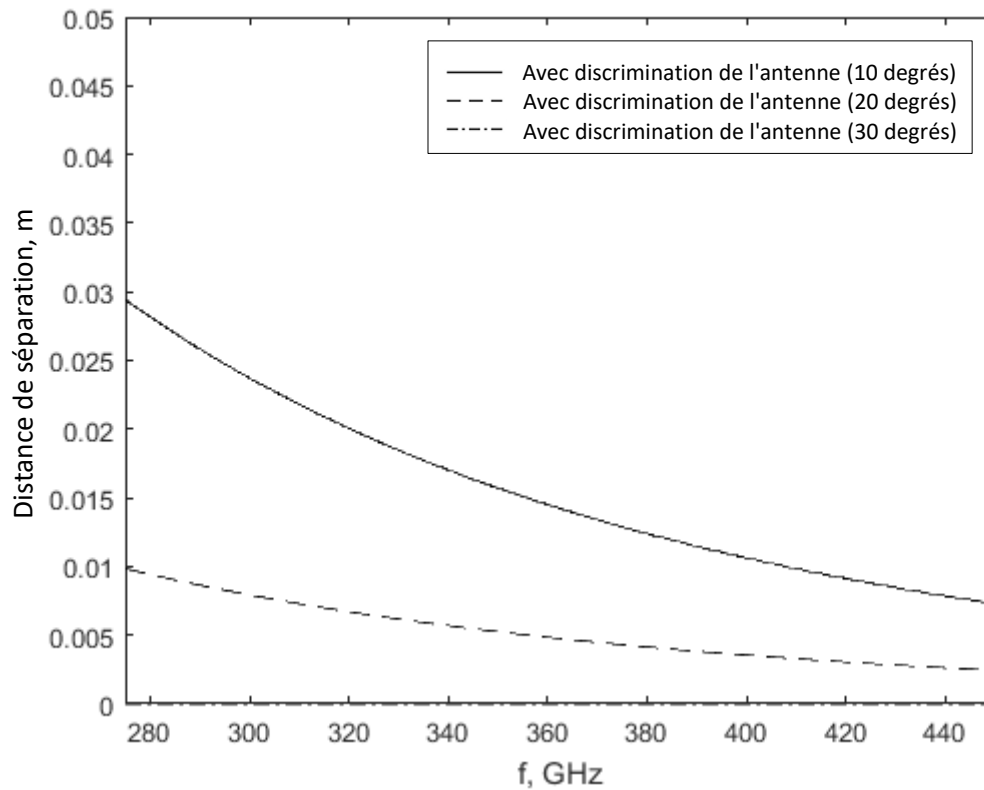


FIGURE A5-13

Distance de séparation minimale intégrant l'estimation de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles entre la station du SF et le radiotélescope, compte tenu du seuil de brouillage de la radioastronomie indiqué dans le Tableau 10 (observations des raies spectrales) et de la discrimination de l'antenne



Compte tenu des résultats présentés, nous pouvons conclure à titre préliminaire que le partage entre le SF et le SETS (passive) peut être possible dans la bande de fréquences 275-325 GHz ainsi que dans la bande 380-450 GHz, mais que dans la bande 380-450 GHz il est plus simple de tenir compte des conditions de propagation pour pouvoir partager les fréquences.