

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R F.2086-0
(09/2015)

**Scénarios de déploiement des systèmes
point à point du service fixe**

Série F
Service fixe



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

Séries des Recommandations UIT-R

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

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de 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
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

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

Publication électronique
Genève, 2017

© UIT 2017

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

RECOMMANDATION UIT-R F.2086-0

Scénarios de déploiement des systèmes point à point du service fixe

(Question UIT-R 252/5)

(2015)

Domaine d'application

La présente Recommandation contient des informations sur les scénarios de déploiement de certains systèmes hertziens fixes point à point du service fixe fonctionnant dans la gamme de fréquences 1,4-86 GHz et les données statistiques associées. Ces informations peuvent être utilisées dans les études relatives au partage et aux brouillages entre ces systèmes du service fixe et les systèmes d'autres services. La présente Recommandation est destinée à être utilisée en association avec la Recommandation UIT-R F.758.

Mots clés

Déploiement, point à point, partage, angle d'élévation, longueur de liaison, hauteur d'antenne

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est souvent nécessaire d'étudier le partage entre des systèmes point à point du service fixe (SF) et des systèmes d'autres services dans les bandes de fréquences attribuées aux deux services avec égalité des droits;
- b) que les brouillages causés par d'autres systèmes de services fonctionnant dans la même bande à titre non primaire, les rayonnements non désirés provenant d'autres systèmes de services fonctionnant en dehors de la bande attribuée au service fixe et les rayonnements émis par des sources autres que les services de radiocommunication doivent aussi être pris en compte;
- c) que les scénarios de déploiement des systèmes de chaque service doivent être connus pour élaborer les modèles de partage à étudier;
- d) que la disponibilité d'informations de base sur le déploiement des systèmes point à point du service fixe est utile pour les études relatives au partage et aux brouillages concernant le service fixe et d'autres services,

notant

- a) que la Recommandation UIT-R F.758 fournit des informations concernant la mise au point de critères de partage et l'évaluation des conditions de brouillage entre le service fixe et d'autres services ou d'autres sources de brouillage;
- b) que la Recommandation UIT-R F.758 fournit aussi des indications quant aux caractéristiques techniques et aux paramètres types des systèmes hertziens fixes numériques à prendre en compte lors de la mise au point des critères de partage et de compatibilité avec d'autres services ou applications radioélectriques;
- c) que les Recommandations UIT-R F.699 et UIT-R F.1245 fournissent des diagrammes de rayonnement de référence des antennes des systèmes point à point du service fixe décrivant les lobes latéraux, exprimés respectivement en valeurs de crête et en valeurs moyennes,

recommande

que, lorsque l'on ne dispose pas d'informations plus précises, celles qui figurent dans l'Annexe 1 soient utilisées pour les scénarios de déploiement des systèmes point à point du service fixe, en combinaison avec les données statistiques de l'Annexe 2, qui peuvent être utilisées dans le cadre d'études relatives au partage ou aux brouillages entre des systèmes point à point du service fixe et d'autres systèmes/applications du service fixe ou d'autres services.

Annexe 1

Scénarios de déploiement des systèmes point à point du service fixe

1 Introduction

Par défaut, lorsqu'on ne dispose pas d'informations plus précises, il est recommandé d'utiliser les paramètres et les hypothèses donnés dans la présente Recommandation pour les études techniques relatives au partage et aux brouillages concernant des systèmes point à point du service fixe fonctionnant dans des bandes de fréquences supérieures à environ 1 GHz¹.

Dans un souci de simplicité, les hypothèses concernant les bandes de fréquences dans la présente Recommandation sont énoncées, dans certains cas, pour des gammes de fréquences plus larges. Cela vise uniquement à simplifier les propos et ne sous-entend aucune considération quant aux attributions.

2 Scénarios de déploiement pour les systèmes point à point du service fixe

Le type d'application pour laquelle un système point à point du SF est utilisé et, par conséquent, la façon dont le système est déployé varient fortement en fonction de la gamme de fréquences et de l'environnement géographique au sein de chaque administration.

- Les bandes inférieures des micro-ondes en dessous de 11 GHz environ permettent de mettre en place des bonds longs, mais fournissent des largeurs de canal allant jusqu'à 28/40 MHz, éventuellement le double dans le cas d'un regroupement de deux canaux. Ces caractéristiques sont particulièrement bien adaptées aux longues voies d'acheminement interurbaines (par exemple, le long d'autoroutes, de chemins de fer, de lignes électriques et d'autres voies faisant l'objet d'un droit de passage). Les systèmes fonctionnant dans ces bandes peuvent servir d'alternative à la fibre optique ou de systèmes redondants, en présence de reliefs accidentés rendant le déploiement de la fibre optique difficile ou dans les cas nécessitant un faible temps de latence. De manière générale, les liaisons fonctionnant dans ces bandes sont plus rarement déployées dans les centres urbains (ou avec une densité plus faible) et, au total, leur nombre est moins grand que celui correspondant à des fréquences plus élevées. Il convient de noter qu'en principe, les liaisons radioélectriques fonctionnant dans ces bandes sont déployées selon une configuration en étoile et convergent vers une station du SF située dans un centre urbain.

¹ Dans le cadre de la description, selon la nomenclature couramment employée, on utilise le terme «micro-ondes» pour faire référence à la gamme de fréquences comprise entre 300 MHz et 300 GHz. En ce qui concerne les bandes de fréquences, conformément au numéro 2.1 du RR, on désigne par «ondes millimétriques» la gamme de fréquences comprise entre 30 GHz et 300 GHz.

- Les bandes moyennes des micro-ondes comprises approximativement entre 11 et 23 GHz permettent encore de mettre en place des bonds relativement longs et fournissent des canaux plus larges que les bandes inférieures. Elles sont souvent utilisées pour les infrastructures de raccordement avec les réseaux mobiles dans des zones urbaines et suburbaines, généralement déployées selon des configurations en anneau ou en étoile. Le nombre de liaisons ainsi que la densité de déploiement dans ces bandes peuvent être très élevés.
- Les bandes supérieures des micro-ondes au-dessus de 23 GHz environ, mais en dessous de 30 GHz, sont adaptées à la mise en place de bonds courts, mais peuvent fournir des largeurs de bande importantes. Ces bandes sont les plus utilisées dans les zones urbaines en tant qu'alternatives à la fibre optique, pour relier des campus ou assurer un raccordement avec le réseau mobile, en particulier pour les petites cellules. Ces systèmes s'étendent généralement sur un ou deux bonds seulement. Le nombre de liaisons ainsi que la densité de déploiement dans ces bandes peuvent être très élevés dans les zones urbaines très denses et l'utilisation de ces bandes connaît actuellement un essor rapide.
- Les bandes d'ondes millimétriques correspondant à des fréquences supérieures à 30 GHz sont adaptées à la mise en place de bonds courts et sont attrayantes du fait de leur caractère très performant (très grandes largeurs de bande et hauts débits de données). Les caractéristiques de propagation et la directivité de l'antenne conviennent parfaitement aux architectures de liaisons point à point de courte portée à haute densité offrant un taux élevé de réutilisation des fréquences. Les liaisons du service fixe en ondes millimétriques peuvent fournir des capacités de plusieurs gigabits, équivalentes à celles de la fibre optique. Certaines de ces liaisons pourraient être déployées de manière non coordonnée. Les applications potentielles des liaisons du service fixe à ondes millimétriques comprennent notamment le transport pour: les réseaux locaux hertziens (WLAN), les réseaux personnels hertziens (WPAN), le large bande mobile (c'est-à-dire le raccordement), les services multimédias nomades à haute résolution et les systèmes hertziens de distribution vidéo. L'utilisation de ces bandes devrait augmenter au fur et à mesure que les technologies se développent et gagnent en maturité.

Ces descriptions sont des généralisations et, dans la pratique, les limites sont très floues et les chevauchements importants entre ces grandes catégories de gammes de fréquences et leurs applications respectives.

Il convient de noter que, pour les applications du service fixe à ondes millimétriques, plusieurs bandes ne sont pas examinées de manière plus approfondie dans la présente Recommandation, en particulier les bandes du service fixe à partir de 92-94 GHz. Ainsi, dans la présente Recommandation, lorsqu'il est fait référence aux bandes «au-dessus de 23 GHz», on ne considère pas ces bandes d'ondes millimétriques de fréquences plus élevées, attribuées au service fixe.

3 Paramètres des systèmes point à point du service fixe à utiliser pour les études techniques

3.1 Critères de brouillage

Se référer à la Recommandation UIT-R F.758 pour des informations générales et des indications concernant les critères de brouillage pour les études techniques.

3.2 Paramètres des équipements point à point du service fixe

L'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.758 constitue la référence principale pour les hypothèses concernant les paramètres des équipements du SF. Si elle ne contient pas d'informations sur la gamme de fréquences considérée, des informations supplémentaires sont disponibles dans l'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R F.758.

Dans les cas où ces deux Annexes ne contiennent aucune information pertinente et dans le cas où l'on souhaite analyser des systèmes analogiques, une archive contenant des informations supplémentaires, mais susceptibles d'être obsolètes, est disponible dans le Rapport UIT-R F.2108.

3.3 Diagrammes d'antenne de référence

Le choix du diagramme d'antenne de référence approprié pour les analyses portant sur des systèmes point à point du SF dépendra du scénario étudié:

- dans les cas où la source de brouillage est unique (ou lorsqu'il y en a un nombre limité) et où la géométrie est statique, il est recommandé d'utiliser un diagramme de lobes latéraux exprimé en valeurs de crête, tel que celui décrit dans la Recommandation UIT-R F.699;
- pour les analyses statistiques et temporelles et dans les cas comportant un brouillage cumulatif causé par un grand nombre de sources, ainsi que pour les analyses statistiques spatiales, l'utilisation d'un diagramme de lobes latéraux exprimé en valeurs de crête conduirait à surestimer le niveau de brouillage. Dans ces cas, il est plutôt recommandé d'utiliser un diagramme de lobes latéraux exprimé en valeurs moyennes, tel que celui décrit dans la Recommandation UIT-R F.1245.

3.4 Modèles de propagation

Il convient d'utiliser les Recommandations pertinentes de la série P pour les analyses de brouillage.

3.5 Paramètres relatifs au déploiement

Dans la présente Annexe, les paramètres suivants relatifs au déploiement sont considérés comme des caractéristiques types à utiliser dans le cadre des études relatives au partage ou aux brouillages portant sur des systèmes point à point du service fixe:

- longueur de liaison;
- angle d'élévation de l'antenne;
- hauteur de l'antenne au-dessus du niveau du sol.

Ces paramètres font l'objet de données statistiques fournies par certaines administrations, résumées dans l'Annexe 2.

Les Tableaux A1-1 à A1-4 peuvent s'avérer utiles lors d'études de partage portant sur des systèmes point à point du service fixe fonctionnant dans une bande de fréquences donnée. Ils montrent les relations existant entre les données statistiques des paramètres relatifs au déploiement contenues dans l'Annexe 2 et les bandes de fréquences correspondantes identifiées dans la Recommandation UIT-R F.758.

Pour les bandes des fréquences qui ne figurent dans la colonne de gauche d'aucun de ces Tableaux, il est suggéré d'utiliser, parmi les données statistiques disponibles, celles qui correspondent à la bande la plus proche.

TABLEAU A1-1

Données statistiques des paramètres relatifs au déploiement correspondant aux bandes de fréquences au-dessous de 6 GHz identifiées dans la Recommandation UIT-R F.758

Bande de fréquence identifiée dans la Rec. UIT-R F.758 (GHz)	Données statistiques des paramètres relatifs au déploiement à utiliser pour les bandes de fréquences de la colonne de gauche	
1,350-1,530	Tableaux A2-1A, A2-1B et A2-1C de l'Annexe 2	Bandes 1,375-1,400/1,427-1,452 GHz
1,700-2,100/1,900-2,300		Bandes 2,025-2,110/2,200-2,285 GHz
2,290-2,670		Bandes 2,025-2,110/2,200-2,285 GHz
3,600-4,200		Bande 3,7-4,2 GHz
4,400-5,000		Note

NOTE – Les données ne sont actuellement pas disponibles.

TABLEAU A1-2

Données statistiques des paramètres relatifs au déploiement correspondant aux bandes de fréquences comprises entre 6 et 10 GHz identifiées dans la Recommandation UIT-R F.758

Bande de fréquence identifiée dans la Rec. UIT-R F.758 (GHz)	Données statistiques des paramètres relatifs au déploiement à utiliser pour les bandes de fréquences de la colonne de gauche	
5,925-6,425	Tableaux A2-2A, A2-2B et A2-2C de l'Annexe 2	Bande 5,925-6,425 GHz Bande des 6 GHz
6,425-7,125		Bande 6,425-7,125 GHz Bande des 7 GHz
7,110-7,900		Bande des 7 GHz Bande 7,125-7,725 GHz Bande 7,425-7,75 GHz
7,725-8,500		Bande 7,725-8,275 GHz Bande 8,025-8,500 GHz Bande des 8 GHz
10,5-10,68		Bande des 10 GHz

TABLEAU A1-3

Données statistiques des paramètres relatifs au déploiement correspondant aux bandes de fréquences comprises entre 11 et 23 GHz identifiées dans la Recommandation UIT-R F.758

Bande de fréquence identifiée dans la Rec. UIT-R F.758 (GHz)	Données statistiques des paramètres relatifs au déploiement à utiliser pour les bandes de fréquences de la colonne de gauche	
10,7-11,7		Bande des 11 GHz Bande 10,7-11,7 GHz
12,75-13,25	Tableaux A2-3A, A2-3B et A2-3C de l'Annexe 2	Bande des 13 GHz
14,4-15,35		Bande 14,25-14,5 GHz Bande des 15 GHz Bande 14,4-15,23 GHz Bande 14,5-15,35 GHz
17,7-19,7		Bande 17,7-19,7 GHz Bande des 18 GHz Bandes 17,8-18,3/19,3-19,7 GHz Bande 17,82-18,72 GHz
21,2-23,6		Bande des 23 GHz Bande 22-23,6 GHz Bandes 22,4-22,6/23,0-23,2 GHz

TABLEAU A1-4

Données statistiques des paramètres relatifs au déploiement correspondant aux bandes de fréquences au-dessus de 23 GHz identifiées dans la Recommandation UIT-R F.758

Bande de fréquence identifiée dans la Rec. UIT-R F.758 (GHz)	Données statistiques des paramètres relatifs au déploiement à utiliser pour les bandes de fréquences de la colonne de gauche	
24,25-29,50	Tableaux A2-4A, A2-4B et A2-4C de l'Annexe 2	Bande des 26 GHz Bandes 25,053-25,431/ 26,061-26,439 GHz Bande des 28 GHz
31,8-33,4		Bande des 32 GHz
36,0-40,5		Bande des 38 GHz
51,4-52,6		Note
55,78-59,0		Note
71-76/81-86		Bande des 75 GHz Bandes 71-76/81-86 GHz

NOTE – Les données ne sont actuellement pas disponibles.

3.5.1 Longueur de liaison

Les longueurs de liaison du service fixe peuvent être déterminées, dans le cadre d'une application utilisant un système point à point du SF, en tenant compte des facteurs suivants (voir aussi le paragraphe 2 de la présente Annexe: Scénarios de déploiement pour les systèmes point à point du service fixe):

- qualité (ou disponibilité) requise pour la liaison;
- condition de visibilité directe.

Dans le cas d'une infrastructure de raccordement avec les réseaux mobiles, la distance entre les stations de base mobiles ou entre les stations de base mobiles et le nœud de haut niveau (station de réseau central) devient un facteur fondamental.

3.5.2 Direction de pointage de l'antenne

Dans certaines bandes de fréquences au-dessus de 1 GHz utilisées en partage avec les services spatiaux, la direction du rayonnement maximal d'une antenne quelconque du SF dépassant une limite de p.i.r.e. donnée s'écarte de l'orbite des satellites géostationnaires d'un angle compris entre 1,5 et 2 degrés, conformément à la disposition applicable de l'Article **21** du RR, lorsque cela est possible. Dans les études de partage entre le service fixe et les services spatiaux, la question de savoir si l'évitement de l'arc évoqué ci-dessus a été appliqué (ou continue de l'être) au scénario de déploiement du service fixe dans la bande de fréquences en question pourrait constituer un facteur important.

3.5.2.1 Angle d'azimut de l'antenne

Dans le cadre d'études de partage à usage général, il peut être supposé que l'angle d'azimut (en degrés, dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du nord vrai) varie de façon uniforme entre zéro et 360 degrés. Lorsque c'est possible, il est préférable d'appliquer cette hypothèse aux liaisons plutôt qu'aux stations, mais il peut être acceptable de l'appliquer aux stations en cas de limitations dues aux contraintes liées à l'approche utilisée pour la simulation ou l'analyse.

3.5.2.2 Angle d'élévation de l'antenne

Ce paramètre est un facteur important pour l'analyse des brouillages causés ou subis par des stations spatiales. A propos de ce paramètre, il convient de noter que l'on peut s'attendre à un angle d'élévation médian négatif, en particulier pour les liaisons les plus longues, en raison de l'effet de la réfraction atmosphérique autour de la courbure de la Terre (voir l'Appendice de l'Annexe 2).

3.5.3 Hauteur de l'antenne au-dessus du niveau du sol

Ce paramètre est un facteur important pour l'analyse de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles dans les environnements urbains ou pour l'évaluation des conditions de visibilité directe ou des brouillages causés ou subis par d'autres stations de Terre ou par des stations terriennes des services spatiaux.

3.5.4 Polarisation

Les systèmes point à point fixes utilisent une polarisation verticale ou horizontale. Lorsque l'on étudie les effets causés ou subis par les systèmes utilisant une polarisation circulaire (tels que les systèmes à satellite), il n'est pas nécessaire de préciser le type exact de la polarisation utilisée.

Lorsqu'il est nécessaire de faire une distinction entre polarisation horizontale et polarisation verticale, il faudra préciser dans quelle mesure les technologies telles que la double polarisation cocanal (CCDP) sont utilisées pour accroître les capacités du système. Les systèmes point à point classiques utilisent généralement à la fois des liaisons à polarisation horizontale et des liaisons à polarisation verticale, avec une répartition à peu près équilibrée entre les deux types de polarisation, chaque liaison

utilisant soit l'un, soit l'autre. Les systèmes qui ont recours à la polarisation CCDP utilisent à la fois la polarisation horizontale et la polarisation verticale pour chacune des liaisons.

3.6 Relations entre les paramètres

Il convient de noter que la longueur de liaison, l'angle d'élévation et la hauteur d'antenne sont des paramètres interdépendants. Chacun d'entre eux peut être calculé en fonction des deux autres. Cela doit être pris en considération lors de la mise au point de scénarios de partage.

Par exemple, pour un scénario donné, on pourrait définir un certain nombre de liaisons aléatoires sur la base des distributions statistiques fournies pour les longueurs de liaison et les hauteurs d'antenne. Dans ce cas, les angles d'élévation des antennes correspondants devraient être calculés, pour chacune de ces liaisons, plutôt que générés sur la base des statistiques fournies dans la présente Recommandation.

Autre exemple: lors de la mise au point d'un scénario faisant intervenir un certain nombre de stations placées aléatoirement, sans que des liaisons spécifiques ne soient déterminées, il conviendrait de ne pas utiliser les statistiques portant sur les longueurs de liaison, mais plutôt d'utiliser les distributions concernant les hauteurs d'antenne et les angles d'élévation.

Annexe 2

Résumé des données statistiques des paramètres relatifs au déploiement pour les systèmes point à point du service fixe fonctionnant dans les différentes bandes de fréquences

1 Introduction

Elaborée sur la base des contributions de plusieurs administrations, la présente Annexe fournit un résumé des données statistiques pour l'angle d'élévation de l'antenne, la longueur de liaison et la hauteur de l'antenne au-dessus du niveau du sol – en tant que paramètres types relatifs au déploiement pour les systèmes point à point du SF – à utiliser dans les études relatives au partage et aux brouillages portant sur des systèmes point à point du SF.

2 Résumé des données statistiques

2.1 Bandes de fréquences inférieures à 6 GHz

TABLEAU A2-1A
Angle d'élévation (degrés)

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane ²	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	1,375-1,400/ 1,427-1,452	1 614	-3,8:4,4	-1,9:2,2	-0,4:0,4	-0,01	3,37
Canada	2,025-2,110/ 2,200-2,285	6 350	-0,9:0,3	-0,6:0,1	-0,3:0	-0,2	0,9
Canada	3,7-4,2	1 580	-1,4:0,7	-0,7:0,4	-0,3:0	-0,2	0,8

TABLEAU A2-1B
Longueur de liaison (km)

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	1,375-1,400/ 1,427-1,452	1 614	2,2:44	3,6:37	8,3:27	17,3	14,6
Canada	2,025-2,110/ 2,200-2,285	6 350	1:83	1:67	15:53	39	29
Canada	3,7-4,2	1 580	1:84	2:72	7:57	41	28

TABLEAU A2-1C
Hauteur d'antenne (mètres au-dessus du niveau du sol)³

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane ³	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	1,375-1,400/ 1,427-1,452	1 614	5:53	6:45	10:33	20	16,8
Canada	2,025-2,110/ 2,200-2,285	6 350	3:127	5:105	15:80	47	42
Canada	3,7-4,2	1 580	15:140	20:131	20:85	39	42

² On s'attend à un angle d'élévation médian négatif, en particulier pour les liaisons les plus longues, en raison de l'effet de la réfraction atmosphérique autour de la courbure de la Terre (voir l'Appendice de l'Annexe 2).

³ La hauteur au-dessus du niveau du sol inclut la structure de l'antenne et tout bâtiment sur lequel elle est située.

2.2 Bandes de fréquences comprises entre 6 et environ 11 GHz

TABLEAU A2-2A
Angle d'élévation (degrés)

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane ⁴	Ecart type	
			5:95	10:90	25:75			
Canada	5,925-6,425	31 423	-0,8:0,5	-0,5:0,1	-0,3:0	-0,2	1,4	
Canada	6,425-6,930	21 126	-0,7:0,5	-0,5:0,2	-0,2:0	-0,1	1,1	
France	5,925-6,425	1 937	-1,5:1,6	-0,7:0,9	-0,1:0,2	0,03	1,13	
France	6,425-7,125	2 756	-2,3:2,3	-1:1,3	-0,2:0,2	0,01	1,5	
Pologne	6	1 262	-0,62:0,42	-0,35:0,13	-0,19:-0,03	-0,106	0,487	
Pologne	7	1 280	-0,45:0,29	-0,29:0,16	-0,15:0,01	-0,080	4,739	
Canada	7,125-7,725	20 684	-1,4:0,8	-0,9:0,3	-0,4:0	-0,2	1,5	
Canada	7,725-8,275	7 772	-1,0:0,5	-0,6:0,2	-0,2:0	-0,1	0,8	
Japon	7,425-7,75	16 380	-7,29:7,26	-4,50:4,45	-1,41:1,32	-0,119	6,472	
France	8,025-8,500	2 257	-2,4:5,8	-1,5:3,5	-0,25:1,12	0,13	3,24	
Pologne	8	1 856	-0,37:0,20	-0,27:0,06	-0,18: -0,03	-0,114	3,47	
Canada	10,55-10,68	1 272	-1,0:0,86	-0,56:0,43	-0,22:0,11	-0,05	0,87	
Canada	10,7-11,7	24 571	-1,7:1,1	-0,8:0,5	-0,3:0,1	-0,1	1,4	
France	10,7-11,7	2 491	-2,7:3	-1,45:1,5	-0,35:0,42	0,0	1,92	
Japon	10,7-11,7	23 448	-3,10:3,07	-1,85:1,80	-0,60:0,55	-0,027	2,078	
Pologne	10	Emission	78	-0,52:4,08	-0,26:2,80	-0,01:1,28	0,525	1,392
		Réception	78	-4,08:0,30	-2,81:0,21	-1,32:-0,17	-0,579	1,373
Pologne	11	1 431	-0,38:0,29	-0,29:0,17	-0,17:0,00	-0,076	0,354	

⁴ On s'attend à un angle d'élévation médian négatif, en particulier pour les liaisons les plus longues, en raison de l'effet de la réfraction atmosphérique autour de la courbure de la Terre (voir l'Appendice de l'Annexe 2).

TABLEAU A2-2B
Longueur de liaison (km)

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
Canada	5,925-6,425	31 423	9:74	15:64	28:51	40	18
Canada	6,425-6,930	21 126	5:68	8:59	17:45	30	20
France	5,925-6,425	1 937	12:49	14:43	19:37	28	12,6
France	6,425-7,125	2 756	8,2:46	10:42	15:30	21,7	12,5
Pologne	6	1 262	19,6:51,4	21,9:46,5	27,2:38,6	33,3	10,08
Pologne	7	1 280	11,7:41,1	14,4:34,0	17,1:26,8	21,2	9,06
Canada	7,125-7,725	20 684	6:75	11:70	20:53	38	23
Canada	7,725-8,275	7 772	5:59	6:47	13:35	22	17
Japon	7,425-7,75	8 570	1,7:48,8	3,5:39,8	8,6:26,0	14,8	14,684
France	8,025-8,500	2 257	2,7:50	4,8:41	10:28	17,43	14,9
Pologne	8	1 856	15,9:47,0	19,0:44,6	25,7:39,5	33,4	9,91
Canada	10,55-10,68	1 272	6:27	7:22	10:17	13	6,41
Canada	10,7-11,7	24 571	3:45	4:34	7:21	13	14
France	10,7-11,7	2 491	4,8:26	6,4:22	9,2:17	12,51	6,71
Japon	10,7-11,7	11 724	2,14:14,05	2,97:12,24	4,85:9,47	6,994	3,666
Pologne	10	78	1,1:39,2	1,7:20,5	3,6:12,6	6,9	10,97
Pologne	11	1 431	8,0:39,0	11,0:36,0	14,7:30,4	21,3	9,70

TABLEAU A2-2C

Hauteur d'antenne (mètres au-dessus du niveau du sol)⁵

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane ⁵	Ecart type	
			5:95	10:90	25:75			
Canada	5,925-6,425	31 423	14:105	20:95	35:78	55	41	
Canada	6,425-6,930	21 126	15:115	20:102	36:81	54	32	
France	5,925-6,425	1 937	5:53	6:45	10:33	33	22,8	
France	6,425-7,125	2 756	8:64	10:55	17:43	30	19,6	
Pologne	6	1 262	24,2:115,0	29,2:88,5	39,1:69,3	55,0	27,9	
Pologne	7	1 280	23,0:89,9	33,5:75,0	41,2:62,0	52,0	22,7	
Canada	7,125-7,725	20 684	11:119	15:105	24:76	45	34	
Canada	7,725-8,275	7 772	19:110	23:89	37:73	52	27	
Japon	7,425-7,75	9 152	10,8:82,0	13,8:58,5	19,2:40,93	27,2	31,163	
France	8,025-8,500	2 257	5,5:72	8:58	12:36	21	25	
Pologne	8	1 856	30,0:88,0	35,4:80,0	46,0:68,0	58,9	16,8	
Canada	10,55-10,68	1 272	15:82	20:66	30:50	40	24,1	
Canada	10,7-11,7	24 571	15:92	23:80	33:59	44	25	
France	10,7-11,7	2 491	8:55	10:48	17,5:39	29	17,11	
Japon	10,7-11,7	23 448	17,0:84,0	21,4:69,3	28,0:51,1	40,5	23,435	
Pologne	10	Emission	78	7,9:82,0	10,0:80,0	16,0:45,8	25,5	27,9
		Réception	78	14,9:161,8	18,8:142,0	33,8:80,8	50,0	48,0
Pologne	11	1 431	27,6:105,0	35,0:86,0	44,0:69,6	58,0	23,8	

⁵ La hauteur au-dessus du niveau du sol inclut la structure de l'antenne et tout bâtiment sur lequel elle est située.

2.3 Bandes de fréquences comprises entre 12 et 23 GHz

TABLEAU A2-3A
Angle d'élévation (degrés)

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane ⁶	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	12,75-13,25	8 323	-2,7:2,8	-1,4:1,4	-0,35:0,33	-0,01	2,31
Pologne	13	7 136	-0,60:0,48	-0,38:0,27	-0,19:0,06	-0,064	0,543
France	14,25-14,5	186	-7,35:12,9	-3,02:7,32	-0,41:2,6	0,14	6,61
Canada	14,5-15,35	16 152	-1,3:0,8	-0,9:0,5	-0,3:0,1	-0,1	1,1
Japon	14,4-15,23	10 316	-3,30:3,27	-1,92:1,89	-0,60:0,60	-0,018	2,123
Pologne	15	5 836	-0,55:0,47	-0,35:0,25	-0,18:0,08	-0,049	0,446
France	17,7-19,7	7 127	-3,3:3,37	-1,57:1,79	-0,38:0,48	0,02	2,69
Canada	17,8-18,3/ 19,3-19,7	19 448	-1,9:1,0	-1,1:0,6	-0,5:0,2	-0,1	2,2
Japon	17,82-18,72	15 892	-9,22:9,22	-5,04:5,02	-1,35:1,34	-0,040	6,563
Pologne	18	9 137	-0,79:0,73	-0,44:0,38	-0,18:0,10	-0,041	1,226
Canada	21,6-22,4/ 23,0-23,6	13 345	-1,95:1,92	-1,19:1,27	-0,46:0,43	-0,01	2,07
Japon	22,4-22,6/ 23,0-23,2	1 148	-20,7:20,7	-13,7:13,7	-3,69:3,68	-0,098	11,864
France	22-23,6	13 303	-3,2:3,1	-1,55:1,53	-0,42:0,41	0,0	2,78
Pologne	23	24 344	-1,09:1,06	-0,65:0,61	-0,24:0,19	-0,030	1,064

⁶ On s'attend à un angle d'élévation médian négatif, en particulier pour les liaisons les plus longues, en raison de l'effet de la réfraction atmosphérique autour de la courbure de la Terre (voir l'Appendice de l'Annexe 2).

TABLEAU A2-3B
Longueur de liaison (km)

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	12,75-13,25	8 323	4:28	5,7:24	8,5:18	12,7	8,08
Pologne	13	7 136	8,8:31,5	10,6:28,6	13,8:23,2	17,7	7,26
France	14,25-14,5	186	2:25	3,7:22	7:16	10,7	7,13
Canada	14,5-15,35	16 152	2:32	3:25	5:15	9	11
Japon	14,4-15,23	5 158	1,83:7,42	2,38:6,52	3,24:5,39	4,211	1,878
Pologne	15	5 836	27,0:68,0	34,0:63,0	43,5:53,3	46,0	12,9
France	17,7-19,7	7 127	1,5:16	2,3:14	4,3:10	7,3	5,1
Canada	17,8-18,3/ 19,3-19,7	19 448	2:30	2:22	3:12	6	10
Japon	17,82-18,72	7 944	0,7:6,89	1,1:5,8	1,8:4,0	2,7	1,882
Pologne	18	9 137	3,7:20,4	5,3:18,0	8,4:14,5	11,4	4,95
Canada	21,6-22,4/ 23,0-23,6	13 345	1:8	1:6	2:4	3	17,69
Japon	22,4-22,6/ 23,0-23,2	592	0,7:7,6	1,0:3,9	1,5:3,0	2,2	2,436
France	22,2-23,6	13 303	1,3:13	2,1:11	4,1:8,6	6,2	3,58
Pologne	23	24 344	2,1:14,3	3,1:12,5	5,1:9,8	7,4	3,74

TABLEAU A2-3C

Hauteur d'antenne (mètres au-dessus du niveau du sol)⁷

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	12,75-13,25	8 323	7:52	10:45	17:37	27,7	16,61
Pologne	13	7 136	17,0:104,1	25,0:80,0	37,0:58,0	46,0	28,8
France	14,25-14,5	186 352	6:52	8:45	12:34	20	16,67
Canada	14,5-15,35	16 152	22:94	26:82	34:58	43	24
Japon	14,4-15,23	10 316	19,78:91,83	22,4:74,4	31,2:52,0	41,20	26,073
Pologne	15	5 836	27,0:68,0	34,0:63,0	43,5:53,3	46,0	12,9
France	177-19,7	7 127	8,6:55	11,7:47	20:38	29	17,84
Canada	17,8-18,3/ 19,3-19,7	19 448	18:91	23:75	30:52	40	24
Japon	17,82-18,72	10 232	11,7;71,89	15,0:52,59	22,38:41,0	32,0	30,939
Pologne	18	9 137	20,0:84,1	27,0:69,3	38,0:58,0	45,0	22,8
Canada	21,6-22,4/ 23,0-23,6	13 345	11:74	15:60	25:44	33	23,7
Japon	22,4-22,6/ 23,0-23,2	538	5,0:68,5	6,0:51,29	12,3:35,4	24,0	21,885
France	22-23,6	13 303	9:50	12:44	20:36	28	15,26
Pologne	23	24 344	15,0:82,0	21,5:65,0	33,5:52,0	42,0	24,1

⁷ La hauteur au-dessus du niveau du sol inclut la structure de l'antenne et tout bâtiment sur lequel elle est située.

2.4 Bandes de fréquences supérieures à 23 GHz

TABLEAU A2-4A
Angle d'élévation (degrés)

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane ⁸	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	25,053-25,431/ 26,061-26,439	3 582	-3,03:3,35	-1,6:2,09	-0,5:0,6	0,03	2,68
Pologne	26	626	-2,46:2,44	-1,40:1,38	-0,53:0,50	-0,017	2,366
Pologne	28	8	-:-	-:-	-0,38:0,34	-0,041	0,378
France	31,871-32,543/ 32,683-33,355	122	-0,83:4,3	-0,31:3,24	0,05:1,27	0,5	1,90
Pologne	32	7 587	-2,13:2,12	-1,36:1,34	-0,56:0,54	-0,005	2,177
			5:95	10:90	25:75		
France	38	7 554	-3,8:4,3	-2,09:2,36	-0,73:0,71	-0,04	3,13
Pologne	38	30 437	-3,59:3,59	-2,17:2,17	-0,85:0,83	-0,004	3,600
France	71-76/81-86	61	-1,7:4,3	-0,9:2,6	-0,2:1	0,34	2,15
Pologne	75	176	-3,12:3,11	-2,54:2,54	-1,01:1,00	-0,004	2,366

TABLEAU A2-4B
Longueur de liaison (km)

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	25,053-25,431/ 26,061-26,439	3 582	0,7:8	1,07:6	1,85:5	3,06	2,12
Pologne	26	626	0,8:9,0	1,0:7,6	2,0:5,8	3,3	2,63
Pologne	28	8	-:-	-:-	4,9:11,3	7,1	3,08
France	31,871-32,543/ 32,683-33,355	122	0,72:5	1:4,4	1,5:4	2,5	1,43
Pologne	32	7 587	0,5:7,2	0,7:6,2	1,1:3,7	2,0	2,15
France	38	7 554	0,5:5	0,8:4	1,3:3	2,29	1,38
Pologne	38	30 437	0,4:4,6	0,5:3,9	1,0:2,7	1,7	1,35
France	71-76/81-86	61	0,5:2,8	0,7:2,7	1:2,3	1,87	0,95
Pologne	75	176	0,3:2,0	0,5:1,9	0,7:1,8	1,0	0,66

⁸ On s'attend à un angle d'élévation médian négatif, en particulier pour les liaisons les plus longues, en raison de l'effet de la réfraction atmosphérique autour de la courbure de la Terre (voir l'Appendice de l'Annexe 2).

TABLEAU A2-4C

Hauteur d'antenne (mètres au-dessus du niveau du sol)⁹

	Bande (GHz)	Nombre d'enregistrements	Centiles			Médiane	Ecart type
			5:95	10:90	25:75		
France	25,053-25,431/ 26,061-26,439	3 582	10:56	14:48	21:38	29	18,13
Pologne	26	626	14,4:110,3	18,0:79,5	26,0:55,0	38,3	29,2
Pologne	28	8	—:—	—:—	33,5:99,8	50,0	32,2
France	31,871-32,543/ 32,683-33,355	122	13:63	17:52	24:43	33	19
Pologne	32	7 587	13,0:98,0	16,0:68,2	21,4:40,0	28,0	29,5
France	38	7 554	10:53	14:46	20,5:36,5	28	16,88
Pologne	38	30 437	12,0:85,0	15,0:64,0	22,0:44,5	33,5	26,5
France	71-76/81-86	61	12:50	16:46	21:36	29,05	11,59
Pologne	75	176	11,0:68,2	13,6:49,0	17,0:38,9	26,3	21,4

Appendice de l'Annexe 2

Indications pour le calcul des données relatives à l'angle d'élévation en tenant compte de l'effet de la réfraction atmosphérique autour de la courbure de la Terre

La courbure de la Terre a été prise en compte pour toutes les distances d et les formules fournies dans la Recommandation UIT-R P.1812-3 ont été utilisées:

$$\theta_{i \text{ deg}} = \theta_{i \text{ rad}} \cdot \frac{10^{-3} \cdot 180}{\pi} \quad \text{degrés}$$

où:

$$\theta_{id} = 1000 \arctan \left(\frac{h_{rs} - h_{ts}}{10^3 d} - \frac{d}{2 a_e} \right)$$

a_e : valeur médiane du rayon terrestre équivalent, appropriée pour le trajet

h_{ts} : hauteur de l'antenne de la station d'émission au-dessus du niveau moyen de la mer (m)

⁹ La hauteur au-dessus du niveau du sol inclut la structure de l'antenne et tout bâtiment sur lequel elle est située.

h_{rs} : hauteur de l'antenne de la station de réception au-dessus du niveau moyen de la mer (m)

d : longueur totale du trajet sur le grand cercle (km).

Le facteur k_{50} permettant de calculer la valeur médiane du rayon terrestre équivalent pour le trajet est obtenue à l'aide de la formule suivante:

$$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N}$$

ΔN : gradient moyen du coïndice (unités N/km)

La valeur médiane du rayon terrestre équivalent, a_e , est donnée par:

$$a_e = 6371 \cdot k_{50} \quad \text{km.}$$
