

RECOMMANDATION UIT-R F.1335*

**MÉTHODE PERMETTANT LE TRANSFERT PROGRESSIF DES ASSIGNATIONS
DANS LES BANDES UTILISÉES EN PARTAGE ENTRE LE SERVICE MOBILE
PAR SATELLITE ET LE SERVICE FIXE DANS LA BANDE DES 2 GHz**:
CONSIDÉRATIONS D'ORDRES TECHNIQUE ET OPÉRATIONNEL**

(Question UIT-R 208/9)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le service mobile par satellite (SMS) (Terre-espace) et le service fixe disposent de fréquences attribuées à titre coprimaire dans la bande de fréquences 1 980-2 010 MHz dans toutes les Régions et dans la bande de fréquences 2 010-2 025 MHz dans la Région 2;
- b) que le SMS (espace-Terre) et le service fixe disposent de fréquences attribuées à titre coprimaire dans la bande de fréquences 2 170-2 200 MHz dans toutes les Régions et dans la bande de fréquences 2 160-2 170 MHz dans la Région 2;
- c) que ces bandes sont largement utilisées par le service fixe dans de nombreux pays;
- d) que, pour de nombreux pays en développement, l'utilisation de la bande des 2 GHz offre un grand avantage pour leurs réseaux de radiocommunication et qu'il peut s'avérer non attractif de transférer, en raison des conséquences économiques que cela pourrait entraîner, ces systèmes dans des bandes de fréquences plus élevées;
- e) que la Résolution 716 (CMR-95) relative à l'utilisation de la bande des 2 GHz par le service fixe et le SMS ainsi qu'aux dispositions transitoires associées encourage les administrations à établir, chaque fois que cela est pratiquement réalisable, des plans prévoyant le transfert progressif des assignations de fréquence à leurs stations de service fixe dans les bandes des 2 GHz utilisées en partage avec le SMS, vers des bandes ne se chevauchant pas, la priorité étant donnée au transfert de leurs assignations de fréquence dans la bande 1 980-2 010 MHz (Terre-espace) dans toutes les Régions et dans la bande 2 010-2 025 MHz dans la Région 2, eu égard aux aspects techniques, opérationnels et économiques;
- f) que l'UIT-R a mis au point une nouvelle disposition des canaux décrite dans la Recommandation UIT-R F.1098 pour le service fixe dans la bande des 2 GHz, ce qui facilitera l'introduction des systèmes du service fixe à 2 GHz dans des bandes qui ne chevauchent pas la bande des 2 GHz attribuée au SMS;
- g) que la Résolution 716 (CMR-95) demande à l'UIT-R de mettre au point les outils de planification nécessaires afin d'aider les administrations qui envisagent de procéder à une nouvelle planification de leurs réseaux fixes de Terre pour intégrer le SMS dans la bande des 2 GHz,

recommande

- 1** aux administrations de tenir compte des informations contenues dans les Annexes 1 à 4, lors de l'examen des dispositions transitoires concernant le SMS et le service fixe dans la bande des 2 GHz.

* Cette Recommandation a été conjointement élaborée par les Commissions d'études 8 et 9 des radiocommunications et toute révision ultérieure devra également être effectuée conjointement. Cette Recommandation doit être portée à l'attention du Bureau des radiocommunications.

** Conformément à la Résolution 716 (CMR-95) de la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995), les bandes de fréquence dont traite cette Recommandation s'inscrivent principalement dans les bandes de fréquences 1 980-2 010 MHz (attribution mondiale) et 2 010-2 025 MHz (Région 2) attribuées au service mobile par satellite (SMS) (Terre-espace) et dans les bandes 2 160-2 170 MHz (Région 2) et 2 170-2 200 MHz (attribution mondiale) attribuées au SMS (espace-Terre).

Méthode permettant le transfert progressif des assignations dans les bandes utilisées en partage entre le SMS et le service fixe dans la bande des 2 GHz: Considérations d'ordres technique et opérationnel

1 Introduction

Une administration peut décider d'effectuer un transfert d'assignations entre services afin de faciliter l'introduction du SMS. Dans ce cas, il est nécessaire de déterminer les critères selon lesquels on estime que des brouillages seront causés ou subis par le système du SMS ainsi que les actions ou règles qui seraient alors applicables. Cette situation peut apparaître soit lors d'une coordination bilatérale, soit lorsqu'une administration a décidé de mettre en place un ou plusieurs systèmes spécifiques du SMS. La Recommandation UIT-R M.1319 traite de la méthodologie qui pourrait être utilisée pour cette détermination, dans le cas d'un seul système du SMS. Les effets des brouillages dus à plusieurs systèmes du SMS sur la planification du transfert sont actuellement à l'étude à l'UIT-R.

Dans ce contexte, le calendrier de ce transfert couvre la période qui s'écoule entre le moment où une administration libère des fréquences pour le SMS et le moment où elle exige que les systèmes du service fixe soient déplacés vers des bandes autres que celles nécessaires à la mise en œuvre du système du SMS.

La présente Annexe traite de deux aspects:

- la poursuite de l'exploitation des systèmes fixes dans le spectre identifié pour la mise en œuvre du système du SMS pendant une période de temps acceptable; et
- la poursuite de l'exploitation des systèmes du service fixe dans la bande des 2 GHz au-delà de la période de transfert, ainsi que les outils de planification et de coordination nécessaires pour transférer tout ou partie du système hors de la bande nécessaire à la mise en œuvre du système du SMS. (Voir le § 1.2 sous *demande* de la Résolution 716 (CMR-95).)

2 Attributions à titre coprimaire de la bande des 2 GHz au SMS

Les bandes 1 980-2 010 MHz et 2 170-2 200 MHz sont actuellement attribuées à l'échelle mondiale, aux SMS à titre coprimaire avec les services fixe et mobile. En Région 2, la bande 2 160-2 170 MHz est également attribuée à titre coprimaire à ces services. A la suite de la CMR-95, la bande des fréquences 2 010-2 025 MHz a été attribuée au SMS à titre coprimaire avec les services fixe et mobile dans la Région 2.

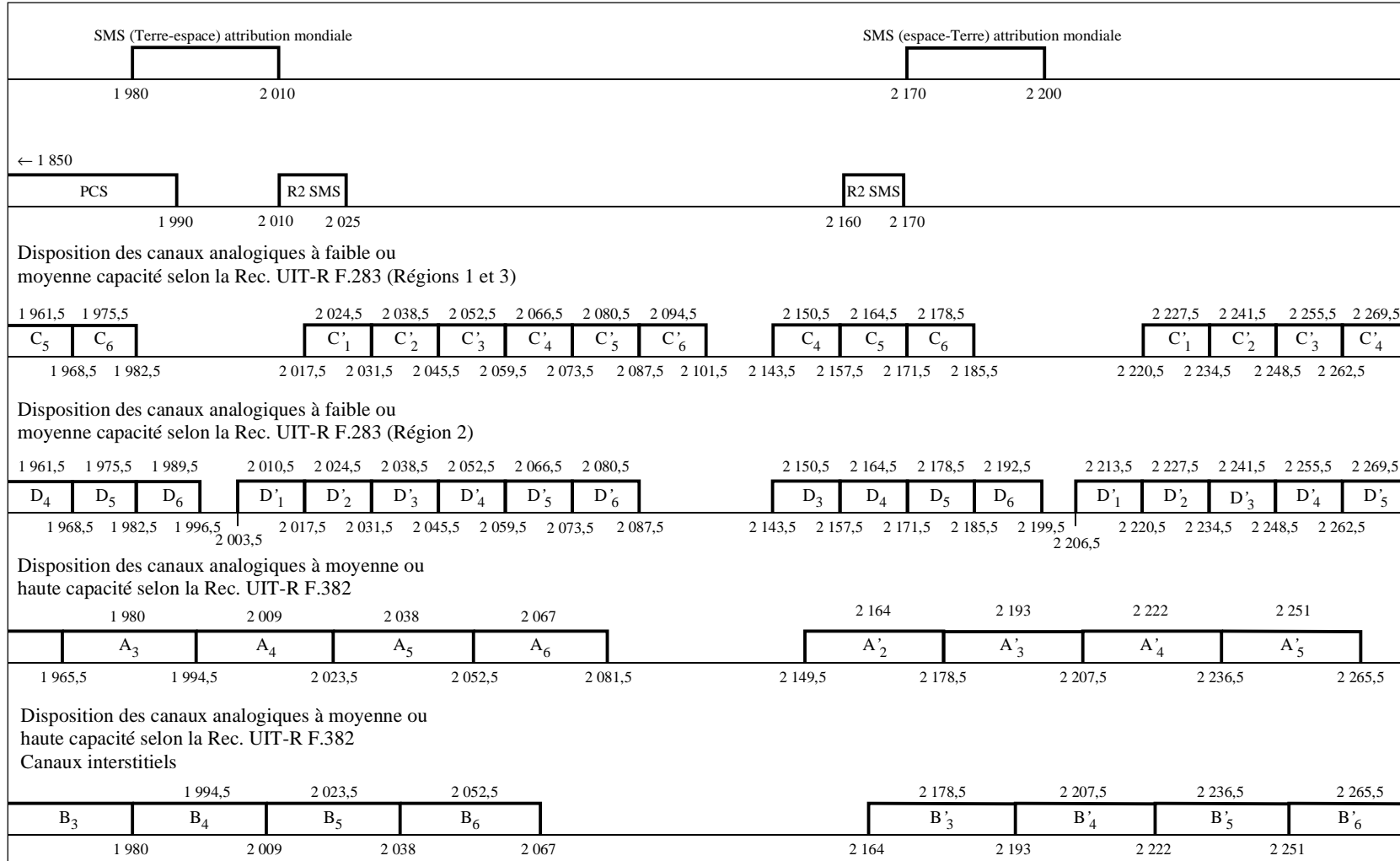
3 Contexte

Les systèmes fixes existants utilisent principalement deux dispositions des canaux radioélectriques telles que définies par les Recommandations UIT-R F.283 et UIT-R F.382. La Recommandation UIT-R F.283 définit la disposition des canaux pour les deux sous-bandes de fréquences 1 900-2 100 MHz et 2 100-2 300 MHz avec six canaux appariés dans chaque sous-bande, ayant chacun une largeur de bande de 14 MHz. La Recommandation UIT-R F.382 spécifie la disposition des canaux pour la bande des fréquences 1 900-2 300 MHz avec six canaux appariés, ayant chacun une largeur de bande de 29 MHz, il s'agit de deux dispositions de canaux à 29 MHz avec recouvrement et décalage de 14,5 MHz. Ces dispositions et leur rapport avec les attributions actuelles au SMS sont illustrés à la Fig. 1.

La Recommandation UIT-R F.1098, élaborée en réponse à la Résolution 113 (CMR-95) suite aux attributions effectuées par la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92), décrit trois dispositions des canaux pour les nouveaux systèmes du service fixe dans la bande des fréquences 1 900-2 300 MHz. Elle s'intéresse principalement aux bandes «principales» 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz dans lesquelles les services fixe, mobile, d'exploitation spatiale, de recherche spatiale et d'exploration de la Terre par satellite partagent un espace attribué à titre coprimaire. Les descriptions de ces dispositions des canaux sont illustrées à la Fig. 2.

FIGURE 1

Dispositions des canaux selon les Recommandations UIT-R F.283 et UIT-R F.382



1335-01

L'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R F.1098 décrit deux dispositions de canaux qui s'insèrent parfaitement dans les bandes principales définies ci-dessus et comportent six canaux aller et six canaux retour au maximum avec un espacement de 14 MHz entre porteuses. L'Annexe précitée contient une description d'une autre disposition avec jusqu'à cinq paires de canaux aller et retour dont les fréquences centrales sont alignées sur celles des canaux indiqués dans la Recommandation UIT-R F.283.

L'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1098 décrit une disposition des canaux pour les bandes principales ainsi qu'une disposition des canaux élargie à onze paires de canaux «aller» et «retour» au maximum avec un espacement de 14 MHz entre porteuses. Cette disposition des canaux évite les bandes attribuées au niveau mondial au SMS des bandes entre 1 980-2 010 MHz et 2 170-2 200 MHz.

L'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R F.1098 décrit une disposition des canaux pour les bandes principales ainsi qu'une disposition des canaux élargie à dix-neuf paires de canaux «aller» et «retour» au maximum avec un espacement de 10 MHz entre porteuses. La disposition des canaux est fondée sur l'espacement en duplex émetteur-récepteur de 190 MHz actuellement utilisé pour l'appariement des canaux dans le SMS.

Les Annexes 2 et 3 de la Recommandation UIT-R F.1098 prévoient des dispositions des canaux pour des bandes élargies qui sont utilisées lorsqu'un espacement géographique ou un espacement en fréquence approprié permettrait l'utilisation en partage de ces bandes avec le SMS ou les futurs systèmes mobiles terrestres publics de télécommunication (FSMTPT).

4 Effets des attributions à l'échelle mondiale de fréquences au SMS sur les dispositions des canaux visées par les Recommandations UIT-R F.283 et UIT-R F.382 applicables aux systèmes fixes

La bande de garde entre émission et réception dans chacune des sous-bandes est de 35 MHz pour la disposition des canaux décrite dans la Recommandation UIT-R F.283 et de 39 MHz dans la disposition des canaux décrite dans la Recommandation UIT-R F.382. L'attribution actuelle à l'échelle mondiale de fréquences au SMS reprend une valeur de 27,5 + 14,5 MHz de cette bande de garde de 35 MHz dans les Régions 1 et 3 et une valeur de 7 + 0,5 MHz dans la Région 2.

Les effets de l'attribution à l'échelle mondiale de fréquences au SMS sur chacune des Recommandations sont les suivantes:

– Recommandation UIT-R F.283	(Régions 1 et 3)	1 980-2 010 MHz	2,5 MHz de C6
	(Région 2)	1 980-2 010 MHz	2,5 MHz de D5
	(Région 2)	1 980-2 010 MHz	14 MHz de D6
	(Région 2)	1 980-2 010 MHz	6,5 MHz de D1'
	(Régions 1 et 3)	2 170-2 200 MHz	1,5 MHz de C5
	(Régions 1 et 3)	2 170-2 200 MHz	14 MHz de C6
	(Région 2)	2 170-2 200 MHz	1,5 MHz de D4
	(Région 2)	2 170-2 200 MHz	14 MHz de D5
	(Région 2)	2 170-2 200 MHz	14 MHz de D6
– Recommandation UIT-R F.382	(Disposition)	1 980-2 010 MHz	14,5 MHz de A3
	(Disposition)	1 980-2 010 MHz	15,5 MHz de A4
	(Disposition avec décalage)	1 980-2 010 MHz	29 MHz de B4
	(Disposition avec décalage)	1 980-2 010 MHz	1 MHz de B5
	(Disposition)	2 170-2 200 MHz	8,5 MHz de A2'
	(Disposition)	2 170-2 200 MHz	21,5 MHz de A3'
	(Disposition avec décalage)	2 170-2 200 MHz	23 MHz de B3'
(Disposition avec décalage)	2 170-2 200 MHz	7 MHz de B4'	

5 Effets des attributions de fréquences au service SMS dans la Région 2 sur les dispositions des canaux décrites dans les Recommandations UIT-R F.283 et UIT-R F.382 pour les systèmes du service fixe

Les effets de l'attribution de fréquences au SMS de la Région 2 sur chacune des Recommandations sont les suivantes:

– Recommandation UIT-R F.283	(Régions 1 et 3)	2 010-2 025 MHz	7,5 MHz de C1'
	(Région 2)	2 010-2 025 MHz	7,5 MHz de D1'
	(Région 2)	2 010-2 025 MHz	7,5 MHz de D2'
	(Régions 1 et 3)	2 160-2 170 MHz	10 MHz de C5
	(Région 2)	2 160-2 170 MHz	10 MHz de D4
– Recommandation UIT-R F.382	(Disposition)	2 010-2 025 MHz	13,5 MHz de A4
	(Disposition)	2 010-2 025 MHz	1,5 MHz de A5
	(Disposition avec décalage)	2 010-2 025 MHz	15 MHz de B5
	(Disposition)	2 160-2 170 MHz	10 MHz de A2'
	(Disposition avec décalage)	2 160-2 170 MHz	6 MHz de B3'

6 Effets sur la Recommandation UIT-R F.1098

L'attribution actuelle à l'échelle mondiale de fréquences au SMS a les effets suivants sur la Recommandation UIT-R F.1098:

- Annexe 1 Sans effet
- Annexe 2 0,5 MHz du canal 11 aller et retour
- Annexe 3 10 MHz du canal 11 aller et retour
10 MHz du canal 12 aller et retour
10 MHz du canal 13 aller et retour
10 MHz du canal 14 aller et retour

L'attribution actuelle de fréquences au SMS dans la Région 2 a les effets suivants sur la Recommandation UIT-R F.1098:

- Annexe 1 Sans effet
- Annexe 2 13,5 MHz du canal 1
5,5 MHz du canal 11
- Annexe 3 10 MHz du canal 10
5 MHz du canal 9
10 MHz du canal 14

7 Dates d'entrée en vigueur des attributions au SMS à l'échelle mondiale et dans la Région 2 dans la bande des 2 GHz

L'utilisation des bandes 1 980-2 010 MHz et 2 170-2 200 MHz attribuées à l'échelle mondiale au SMS ne doit pas commencer avant le 1^{er} janvier 2000 (voir le numéro S5.389A du Règlement des Radiocommunications) (RR).

L'utilisation dans la Région 2 de la bande 1 980-1 990 MHz attribuée au SMS à l'échelle mondiale ainsi que l'utilisation des bandes 2 010-2 025 MHz et 2 160-2 170 MHz attribuées au SMS dans la Région 2 ne doit pas commencer avant le 1^{er} janvier 2005 (voir les numéros S5.389A et S5.389C du RR) sauf pour le Canada et les Etats-Unis d'Amérique où l'utilisation de ces bandes par le SMS ne doit pas commencer avant le 1^{er} janvier 2000 (voir le numéro S5.389D du RR).

8 Principes applicables pendant la période de transition

Si une administration décide de mettre en œuvre le SMS, les principes suivants pourraient être appliqués pendant la période de transition.

Pour faciliter la mise en œuvre du SMS, le développement du service fixe pourrait être gelé, à savoir:

- interdire toute extension des réseaux du service fixe existant dans des bandes qui chevauchent des bandes du SMS; et
- interdire tout nouveau déploiement de réseaux utilisant des systèmes du service fixe existants.

Lorsque le SMS doit être introduit directement dans des bandes attribuées du service fixe, il faut déployer tous les efforts possibles pour coordonner et effectuer le partage des fréquences entre le service fixe existant et le nouveau service SMS. Pour la coordination, il faudra:

- envisager une période de transition lorsque l'application des critères de brouillage montre que les réseaux ou liaisons du service fixe concernés ou les systèmes du SMS pourraient subir des brouillages inacceptables;
- donner la priorité à une période de transition pour les bandes attribuées au SMS (Terre-espace) compte tenu des difficultés de partage des fréquences entre les systèmes du service fixe et les liaisons montantes du SMS (voir le § 4.3 sous *décide* de la Résolution 716 (CMR-95));
- d'envisager à terme, un réaménagement complet des fréquences, le trafic du SMS étant appelé à augmenter.

Comme on sera amené à libérer des fréquences utilisées par certains réseaux existants du service fixe pour permettre la mise en œuvre du SMS, il faudra trouver des fréquences de remplacement (ou des technologies de remplacement non radioélectriques) pour les systèmes du service fixe existants concernés:

- les fréquences de remplacement ne devraient pas se trouver dans des bandes chevauchant les bandes destinées à être utilisées par le SMS (par exemple, les bandes de fréquences visées à la Recommandation UIT-R F.1098 ou des bandes de fréquences plus élevées du service fixe);
- toute extension ou tout nouveau déploiement de services fixes existants devrait être réalisé en utilisant les fréquences de remplacement.

Le transfert des systèmes fixes existants peut s'effectuer sur une période de temps acceptable, en recherchant un compromis entre les intérêts des opérateurs du service fixe existant et ceux des opérateurs du nouveau SMS:

- à l'expiration des licences existantes ou lorsque les équipements sont amortis;
- après une période acceptable, les systèmes fixes pourraient continuer à fonctionner dans le spectre nécessaire à la mise en œuvre du SMS, sur le principe «pas de brouillage et pas de protection».

Lorsqu'on arrive à la situation où les systèmes du service fixe doivent impérativement libérer les fréquences nécessaires à la mise en œuvre du SMS, les outils de planification habituels de mise en œuvre des systèmes peuvent être utilisés (voir la Note 1).

NOTE 1 – Par exemple, des systèmes fixes peuvent être intégrés dans la disposition des canaux décrite dans la Recommandation UIT-R F.1098 ou dans des dispositions des canaux dans des bandes de fréquences plus élevées comme indiqué dans la Recommandation UIT-R F.746.

Recaler des canaux tout en restant à l'intérieur de la même disposition ou, en utilisant une nouvelle disposition de canaux, migrer vers de nouveaux canaux dans la même bande de fréquences mais en dehors du spectre nécessaire à la mise en œuvre du SMS, offre l'avantage de pouvoir conserver une grande partie de l'infrastructure existante. Ceci est particulièrement important pour les liaisons plus longues qui seraient plus difficiles à mettre en place dans des gammes de fréquences plus élevées.

9 Autres informations concernant les dispositions transitoires

L'Annexe 2 contient une présentation générale du partage de fréquences entre le SMS et le service fixe dans la bande des 2 GHz.

L'Annexe 3 décrit quelques modifications techniques qui pourraient être apportées aux systèmes multiplexage par répartition en fréquence – modulation de fréquence (MRF-MF) existants afin d'améliorer leur qualité de fonctionnement en présence de brouillages causés par le SMS et tirer avantage, le cas échéant, de la capacité supplémentaire du système.

L'Annexe 4 décrit une méthode permettant d'évaluer les effets de la replanification des systèmes existants du service fixe afin d'éviter le chevauchement avec les fréquences destinées au SMS. On pourrait tenir compte dans cette approche des Recommandations existantes sur les méthodes de coordination et notamment de la Recommandation UIT-R F.1095 qui traite d'une procédure de détermination de la zone de coordination entre des stations hertziennes du service fixe.

Partage de fréquences entre le SMS et le service fixe dans la bande des 2 GHz

1 Attribution des fréquences utilisées en partage entre le service fixe et le SMS (espace-Terre)

Les Recommandations UIT-R M.1141 et UIT-R M.1142 spécifient respectivement les niveaux des seuils de coordination entre le SMS non OSG (orbite des satellites géostationnaires) (espace-Terre) ou le SMS OSG (espace-Terre) d'une part, et le service fixe d'autre part, en partage des mêmes bandes de fréquences dans la gamme 1-3 GHz.

Les Annexes 2 et 3 de la Recommandation UIT-R M.1143 décrivent une méthode systémique de coordination des stations spatiales non OSG du SMS (espace-Terre) et des systèmes du service fixe utilisant en partage les mêmes bandes de fréquences.

En outre, l'UIT-R a élaboré la Recommandation UIT-R M.1319 sur l'évaluation, dans la coordination détaillée, de l'impact des brouillages causés par des satellites du SMS sur les systèmes du service fixe fonctionnant en visibilité directe dans la bande des 2 GHz. Cette Recommandation décrit de manière détaillée le principe d'une méthodologie à utiliser pour calculer sous forme de statistique le rapport $C/(N+I)$ pour les systèmes du service fixe, en tenant compte du niveau de la porteuse brouilleuse, I , du SMS et de ceux des porteuses utiles, C , du service fixe. Les niveaux des porteuses utiles du service fixe sont estimés en tenant compte des caractéristiques de la station concernée du service fixe, de la porteuse, du circuit d'antenne et de la dégradation intraservice fixe ainsi que des prédictions des phénomènes types de propagation par trajets multiples, conformément à la Recommandation UIT-R P.530 (Genève, 1995) ou le cas échéant, d'autres modèles de propagation. Les niveaux de brouillage dû au SMS sont estimés en tenant compte des paramètres orbitaux de la constellation de satellites du SMS, des paramètres relatifs aux porteuses et des paramètres d'antenne des faisceaux ponctuels du SMS ainsi que, si nécessaire, de la charge de trafic des faisceaux ponctuels du SMS et des plans des fréquences.

Les statistiques concernant le rapport $C/(N+I)$ peuvent être comparées aux valeurs données dans les Recommandations UIT-R applicables traitant de la qualité de fonctionnement des systèmes numériques et analogiques du service fixe, par exemple, pour vérifier que les objectifs de qualité de fonctionnement de l'UIT-R sont respectés dans le cas d'un système du service fixe brouillé par le système du SMS considéré.

L'UIT-R étudie actuellement la méthodologie permettant d'évaluer le brouillage causé par des stations terriennes mobiles aux systèmes du service fixe. Ces méthodologies utilisent les modèles de propagation décrits dans les Recommandations UIT-R P.452 et UIT-R P.617, selon les cas.

1.1 Effets sur les systèmes analogiques du service fixe utilisés en téléphonie

Les systèmes analogiques du service fixe pour la téléphonie fonctionnant dans la gamme 1-3 GHz sont généralement utilisés avec des capacités faibles à moyennes (960 voies ou moins). Deux méthodes sont appliquées pour évaluer l'effet de la capacité du canal sur les brouillages provenant des stations spatiales du SMS.

1.1.1 Première approche

Dans cette première approche, on suppose que pour une capacité en voies quelconque, la configuration du trajet du faisceau hertzien est conçue de façon à ce que le niveau de bruit global soit tout juste conforme aux objectifs de bruit maximal admissible d'une liaison réelle spécifiés dans la Recommandation UIT-R F.395-2 (Volume IX-1 (Düsseldorf, 1990)). Dans ce cas, le niveau de puissance reçu par la station réceptrice d'un système de plus faible capacité, sera en conséquence peu élevé. Donc, dans cette hypothèse et en termes généraux, les effets du brouillage causé par le SMS seront pour ainsi dire les mêmes quelle que soit la capacité en voies du système.

Cependant, même dans ce cas, les effets de la dispersion d'énergie du brouillage produite par le processus de démodulation MF sont plus importants à moindre capacité (voir l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R F.1246). Les effets du brouillage causé par le SMS seront donc sensiblement plus faibles sur les systèmes du service fixe de moindre capacité.

1.1.2 Seconde approche

On admet que la première approche décrite ci-dessus n'est pas réaliste car, de manière générale, il est plus difficile dans le cas d'un faisceau hertzien ayant une capacité plus grande, de sélectionner des stations relais qui satisfont aux objectifs en matière de bruit spécifiés dans la Recommandation UIT-R F.395.

On suppose, dans un cas extrême, que le niveau de puissance reçu par la station réceptrice d'un faisceau hertzien est constant quel que soit le nombre de voies. Dans ce cas, les effets du brouillage sont approximativement proportionnels au carré de la fréquence de bande de base la plus élevée. Par exemple, le brouillage subi par un système à 600 voies est inférieur de 4 dB à celui qui est subi par un système à 960 voies. Il convient d'ajouter à cela l'influence sur le niveau de brouillage des effets de dispersion de l'énergie mentionnés dans le § 1.1.1.

1.1.3 Résumé

Les effets réels du brouillage causé par le SMS sur des systèmes analogiques du service fixe dépendront des caractéristiques du faisceau hertzien considéré. Cependant, ces effets se situeront entre les effets déduits de la première approche et ceux déduits de la deuxième approche: les effets des brouillages causés par le SMS seront inférieurs pour les systèmes analogiques du service fixe ayant une capacité en voies plus faible.

1.2 Effets sur les systèmes numériques du service fixe

Les systèmes numériques du service fixe fonctionnant dans la gamme 1-3 GHz sont généralement utilisés avec des capacités de transmission faibles à moyennes (2 à 45 Mbit/s ou moins). La plupart des observations formulées dans les paragraphes précédents (à l'exception de celles qui portent sur les effets de la dispersion d'énergie qui concernent uniquement les systèmes analogiques du service fixe) sont également valables pour les systèmes numériques du service fixe. Par conséquent, les effets du brouillage causé par le SMS seront généralement plus faibles pour des systèmes numériques du service fixe ayant une capacité de transmission plus faible.

Dans la procédure de coordination détaillée, on pourra déterminer les effets de systèmes du SMS sur des systèmes réels du service fixe et ainsi savoir s'il est nécessaire de prévoir des dispositions transitoires.

2 Attributions des fréquences utilisées en partage entre le service fixe et le SMS (Terre-espace)

Les Recommandations UIT-R M.1141 et UIT-R M.1142 traitent respectivement du partage des bandes de fréquences dans la gamme 1-3 GHz entre stations spatiales non OSG et OSG, d'une part du SMS et, d'autre part, du service fixe.

Dans l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R M.1141, il est précisé que des études de partage ont montré qu'il serait généralement impossible d'exploiter dans le même canal des stations d'émission du nouveau service fixe et les récepteurs de stations spatiales non OSG du SMS dans la bande des 1 980-2 010 MHz.

Dans l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R M.1142, il est indiqué que le partage dans un même canal de la gamme des 1-3 GHz n'est pas réalisable pour des stations spatiales OSG du SMS équipées d'antennes à faisceau de couverture globale et qu'il est difficile pour des stations spatiales OSG à faisceau ponctuel (par exemple, pour la couverture sous-régionale ou nationale ou pour des engins spatiaux à plusieurs faisceaux assurant une couverture globale) en raison de la limitation de la densité de p.i.r.e. à de faibles valeurs, de la nécessité pour les futures stations fixes de ne pas pointer leur antenne à moins de 5° de l'OSG et de l'impossibilité d'établir des contrôles réglementaires sur la totalité des stations fixes.

Les conclusions ci-dessus ont donné lieu au § 4.3 sous *décide* de la Résolution 716 (CMR-95), par laquelle les administrations sont encouragées, chaque fois que cela est pratiquement réalisable, à établir des plans prévoyant le transfert progressif des attributions de fréquences à leurs stations du service fixe opérant dans les bandes utilisées en partage avec le SMS dans la gamme des 2 GHz, vers des bandes ne se chevauchant pas, en tenant compte des aspects techniques, opérationnels et économiques.

Exemples de dispositions transitoires concernant les faisceaux hertziens analogiques de téléphonie fonctionnant dans la gamme des 2 GHz

1 Excursion optimale de fréquence

La Recommandation UIT-R F.404-2 (Volume IX-1 (Düsseldorf, 1990)) donne les excursions de fréquences préférées pour les faisceaux hertziens analogiques de téléphonie à multiplexage par répartition en fréquence (MRF-MF). Les valeurs applicables pour des capacités allant jusqu'à 960 voies, sont indiquées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Excursion de fréquence sans préaccentuation

Nombre maximal de voies	Excursion efficace par voie ⁽¹⁾ (kHz)
12	35
24	35
60	50, 100, 200
120	50, 100, 200
300	200
600	200
960	200

(1) Pour un signal à 800 Hz de 1 mW en un point de niveau relatif zéro.

Si l'on doit recourir à la préaccentuation, sa caractéristique sera, de préférence, telle que la valeur efficace de l'excursion de fréquence (valeur quadratique moyenne) due au signal multiplex, soit la même avec et sans préaccentuation.

Le choix des valeurs indiquées dans le Tableau 1 s'explique de la façon suivante.

La qualité de fonctionnement des faisceaux hertziens analogiques MRF-MF est en général mesurée à l'aide d'un signal de spectre continu uniforme (voir la Recommandation UIT-R F.399-3) (Volume IX-1 (Düsseldorf, 1990)). Généralement, le rapport signal/bruit, S/N , mesuré en bande de base présente les caractéristiques de la Fig. 3, en fonction de la valeur efficace de l'excursion de fréquence par voie (niveau de charge).

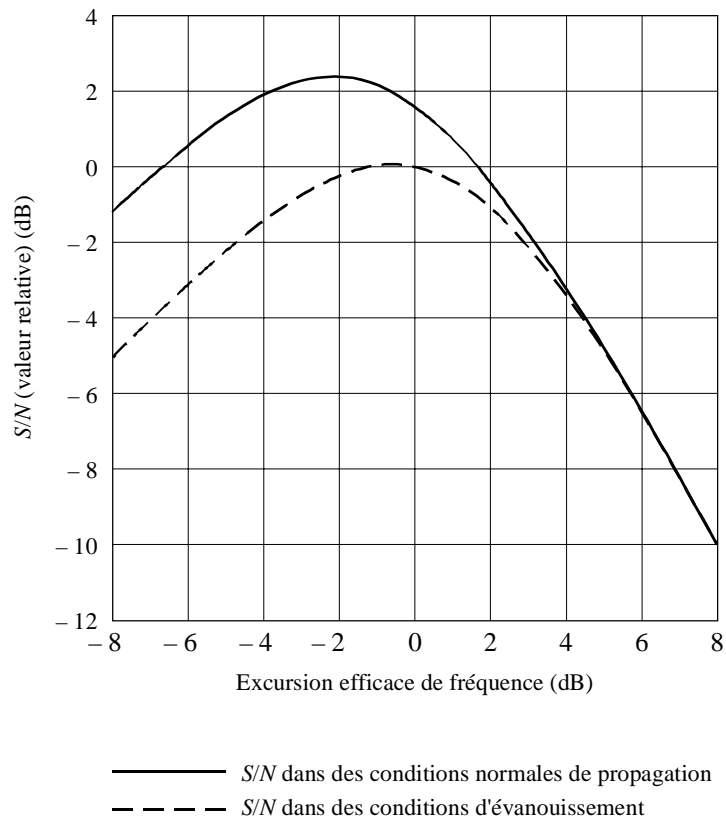
La courbe en traits pleins de la Fig. 3 correspond à la courbe du S/N mesurée dans des conditions normales de propagation. Si le niveau de charge est très inférieur à la valeur nominale, il y a une dégradation du S/N , principalement due à un bruit thermique plus élevé. D'autre part, si le niveau de charge est très supérieur à la valeur nominale, il y a de nouveau une dégradation du S/N , principalement due à un bruit d'intermodulation plus élevé. S/N atteint sa valeur maximale à un certain niveau de charge qui est généralement de quelques décibels inférieur à la valeur nominale. Il faut en effet tenir compte d'une certaine dégradation du bruit thermique due aux évanouissements.

Par conséquent, dans une situation parfaite, S/N atteint sa valeur maximale au niveau de charge nominal dans des conditions d'évanouissement (voir la courbe en traits discontinus). Les valeurs préférées de l'excursion efficace de fréquence par voie, indiquées dans le Tableau 1, ont été déterminées en tenant compte de ces éléments.

Cependant, les facteurs suivants peuvent être soulignés:

- les valeurs préférées du Tableau 1 remontent à plusieurs années, à une époque où le bruit d'intermodulation dû à des imperfections des équipements constituait une contrainte sérieuse. Certains faisceaux hertziens analogiques plus récents peuvent avoir un bruit d'intermodulation plus faible. On peut donc augmenter l'excursion efficace de fréquence par voie;
- les valeurs préférées données au Tableau 1 ont été déterminées sans tenir compte du brouillage causé par le SMS.

FIGURE 3
S/N d'un faisceau hertzien analogique MRF-MF
 en fonction de l'excursion de fréquence



1335-03

Le brouillage produit par les stations spatiales du SMS apparaît comme un bruit thermique additionnel. Par conséquent, si l'excursion efficace de fréquence par voie augmente, les effets combinés du bruit thermique et du bruit dû au brouillage diminueront tandis que les effets du bruit d'intermodulation augmenteront.

Par exemple, si l'excursion efficace de fréquence augmente de 3 dB (280 kHz au lieu de 200 kHz dans le cas d'une capacité de 300, 600 et 960 voies), les effets sur le brouillage causé par les stations spatiales du SMS seront les suivants:

- le brouillage sera réduit d'au moins 3 dB;
- en outre, les effets de la dispersion du spectre du faisceau hertzien analogique augmenteront si l'excursion efficace de fréquence par voie est plus importante; dans le cas du SMS avec émission de signaux en rafale dans un certain nombre de bandes étroites, les effets de la dispersion entraîneront une réduction supplémentaire du bruit de brouillage d'environ 1 ou 2 dB, cette valeur étant liée au spectre utilisé par le SMS.

Par conséquent, les administrations exploitant des faisceaux hertziens analogiques MRF-MF sont invitées à revoir la valeur optimale de l'excursion de fréquence. Si le type d'équipement le permet, une augmentation de 3 dB de l'excursion efficace de fréquence par voie peut entraîner une réduction du bruit de brouillage causé par le SMS, moyennant une légère augmentation du bruit d'intermodulation. (Il va sans dire qu'à l'extrémité réceptrice, il faut atténuer le niveau du signal de 3 dB afin de le ramener à son niveau initial.) Cependant, il est généralement peu recommandé d'augmenter l'excursion efficace de fréquence de plus de 3 dB, car:

- une augmentation plus importante de l'excursion de fréquence entraînera généralement une augmentation excessive du bruit d'intermodulation;
- si l'espacement entre voies adjacentes n'est pas suffisant, une augmentation importante de l'excursion de fréquence entraînera un fort étalement du spectre du faisceau hertzien qui peut se traduire par un brouillage plus important de la voie adjacente sur le même trajet du faisceau hertzien.

2 Abaissement éventuel de la capacité du système

Dans certains cas, l'intensité réelle du trafic d'un faisceau hertzien peut être inférieure à sa capacité nominale. Par exemple, un faisceau hertzien conçu pour une capacité maximale de 960 voies peut écouler des signaux avec une capacité inférieure à 600 voies.

Dans ce cas, si l'équipement de multiplexage est modifié de façon à remplacer la fréquence de bande de base la plus élevée (4 028 kHz pour 960 voies) par une fréquence plus basse (2 540 kHz pour 600 voies), les effets du brouillage causé par le SMS seront atténués.

Deux choix se présentent selon que le circuit de préaccentuation est également modifié ou non.

2.1 Nouveau circuit de préaccentuation

La caractéristique de préaccentuation des faisceaux hertziens MRF-MF utilisés en téléphonie est donnée dans la Recommandation UIT-R F.275-3 (Volume IX-1 (Düsseldorf, 1990)).

Lorsque cela est possible, il faut utiliser un nouveau circuit de préaccentuation et un nouveau circuit de désaccentuation correspondant à une capacité plus faible. Dans le cas d'une réduction de la capacité de 960 à 600 voies, le brouillage causé par le SMS sera réduit d'au moins $20 \log(4\,028/2\,540) = 4$ dB du fait de la modification de la fréquence de bande de base la plus élevée.

En outre, il faut également augmenter l'excursion efficace de fréquence. Dans ce cas, si le type d'équipement le permet, une augmentation jusqu'à 5 dB (360 au lieu de 200 kHz par voie) sera acceptable. Ceci contribuera largement à réduire les effets du brouillage (amélioration supplémentaire de 7 dB environ correspondant à une amélioration totale de 11 dB).

2.2 Non-modification du circuit de préaccentuation

Dans certains cas, il peut être difficile d'installer un nouveau circuit de préaccentuation convenant à une plus faible capacité.

Il faut alors, si le type d'équipement le permet, augmenter l'excursion efficace de fréquence par voie. En cas d'une réduction de la capacité de 960 à 600 voies, il est préférable de procéder à une augmentation de 5 à 6 dB. Dans ce cas, les effets du brouillage causé par le SMS seront fortement réduits (7 à 8 dB environ).

ANNEXE 4

Algorithmes et méthodes de simulation des brouillages entre réseaux du service fixe

1 Introduction

La présente Annexe décrit les algorithmes et méthodes permettant de simuler le brouillage entre réseaux fonctionnant dans le service fixe de Terre.

Ce type de simulation a deux objets:

- répondre au § 1.2 de la Résolution 716 (CMR-95), par lequel il est demandé à l'UIT-R de mettre au point des outils afin d'aider les administrations qui envisagent une nouvelle planification de leurs systèmes du service fixe dans la gamme des 2 GHz, de façon à éviter tout chevauchement avec les attributions du SMS dans la bande des 2 GHz;
- permettre aux administrations d'étudier la faisabilité d'une nouvelle planification des systèmes du service fixe existants dans la gamme des 2 GHz en utilisant, par exemple, les Recommandations UIT-R F.382 ou UIT-R F.283 pour remplacer les canaux du service fixe qui chevauchent actuellement les fréquences attribuées au SMS dans la gamme des 2 GHz et en particulier dans le sens Terre-espace du SMS, par d'autres canaux disponibles du service fixe. Un tel outil de simulation aiderait à déterminer si la nouvelle planification des systèmes du service fixe permet de continuer à respecter les objectifs de qualité de fonctionnement du réseau.

1.1 Caractéristiques d'un modèle d'analyse intraservice fixe

Les exigences essentielles peuvent se résumer ainsi:

- un système du service fixe doit être défini comme étant le système utile;
- toutes les stations des autres systèmes du service fixe sont définies comme potentiellement brouilleuses;
- un calcul du brouillage cumulatif de toutes les liaisons qui brouillent chaque liaison utile est effectué;
- modèle de propagation du signal utile fondé sur la Recommandation UIT-R P.530-6 (Genève, 1995);
- modèle de propagation du brouillage fondé sur la Recommandation UIT-R P.452-7 (Genève, 1995), y compris le modèle de diffraction sur le terrain et les données numériques de terrain;
- le calcul pour chaque station du système utile de la fonction de distribution de probabilité et de la fonction de distribution cumulative pour les rapports C/I , C/N et $C/(N + I)$;
- le calcul statistique de bout en bout en faisant la distinction entre systèmes numériques et analogiques;
- inclusion de la discrimination de polarisation pour des porteuses à polarisation rectiligne orthogonale.

1.2 Antennes et discrimination de polarisation

La modélisation des antennes fait intervenir l'établissement d'un diagramme de décroissance du gain dans lequel le gain relatif de l'antenne est donné en fonction de l'angle hors axe et de la largeur du faisceau à demi-puissance. On suppose une symétrie circulaire.

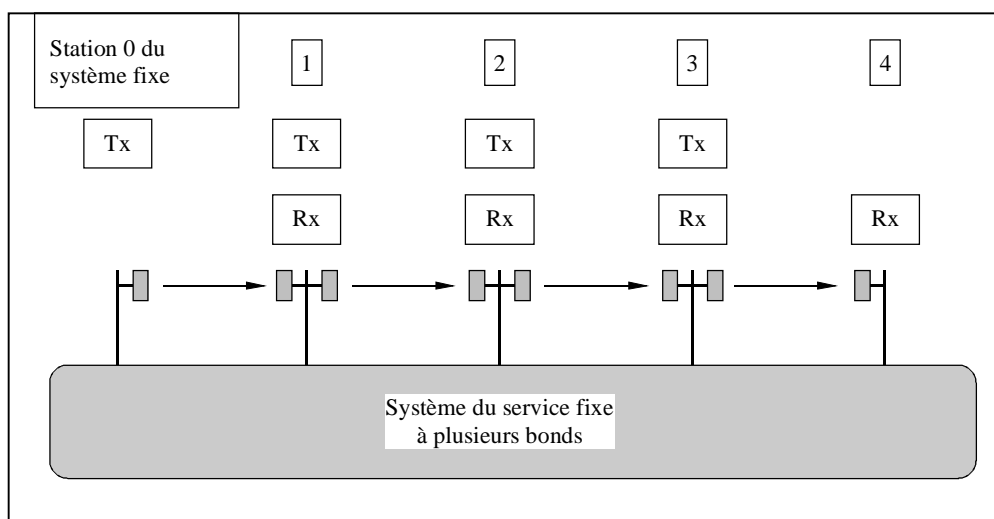
La Recommandation UIT-R F.699 fournit un diagramme type pour le service fixe, avec des courbes définissant leurs caractéristiques copolaires et contrapolaires.

La méthode proposée pour la modélisation implique l'utilisation des fonctions copolaires ou contrapolaires selon le type de polarisation utilisée, soit horizontale, soit verticale, sur les liaisons utile et brouilleuse.

2 Représentation du service fixe

Un système du service fixe comprend une série de n stations du service fixe séparées entre elles par $(n - 1)$ bonds comme illustré à la Fig. 4.

FIGURE 4
Système du service fixe



1335-04

Dans la présente description, les stations du système du service fixe sont numérotées à partir de zéro; la liaison part de la station 0 et la dernière station d'émission (Tx) est la station $n - 2$. La première station réceptrice est la station 1 et la dernière station de réception (Rx) est la station $n - 1$.

2.1 Systèmes du service fixe

Les informations nécessaires concernant le système du service fixe sont celles relatives à:

- la station,
- la porteuse,
- la liaison,

décrites dans les paragraphes suivants. On suppose que le système du service fixe est du type point à point qui peut être modélisé en utilisant des diagrammes de gain d'antenne à symétrie axiale et aussi que chaque antenne pointe vers la station de réception/d'émission.

2.1.1 Informations relatives à la station

Pour spécifier les stations d'un système du service fixe, les informations suivantes sont requises:

- le nombre de stations,
- les caractéristiques des stations,

où chaque station est spécifiée par:

- *la position de la station:*
 - latitude (degrés nord),
 - longitude (degrés est),
 - altitude ((m) au-dessus du niveau moyen de la mer et du terrain local);
- *les caractéristiques des antennes de station*

Les antennes sont spécifiées en utilisant les informations suivantes:

- gain maximal (dBi) et ouverture des faisceaux (ouverture du faisceau à demi-puissance ou semi-grand axe) (degrés),
- taille du réflecteur (m) et son rendement.

Le diagramme de rayonnement peut être défini en utilisant l'une des méthodes ci-dessous et peut être donné à la fois pour des signaux copolaires et contrapolaires au moyen:

- d'une des équations normalisées fournies dans la Recommandation UIT-R pertinente,
- de tableaux spécifiant le gain relatif en fonction de l'angle hors axe.

La Recommandation UIT-R 699 est en général utilisée pour définir le diagramme de gain pour le service fixe.

En outre, les paramètres suivants sont nécessaires pour calculer la température du système:

- facteur de bruit du récepteur,
- température de l'antenne (K),
- affaiblissement dû à la ligne d'alimentation de l'antenne (dB),
- température de la ligne d'alimentation de l'antenne (K).

2.1.2 Informations relatives à la porteuse

La porteuse, qu'elle soit numérique ou analogique, décrit la manière dont le signal radioélectrique transporte les informations. Elle est définie par:

- la largeur de bande occupée (Hz ou kHz ou MHz),
- la polarisation (lévogyre circulaire (LHC), dextrogyre circulaire (RHC), rectiligne horizontale, rectiligne verticale).

2.1.3 Informations relatives à la liaison

La liaison définit la manière dont la porteuse décrite ci-dessus chemine de la station d'émission à la station de réception. Les paramètres suivants sont nécessaires:

- fréquence d'émission (GHz),
- puissance nominale d'émission (dBW),
- modèle de propagation et données correspondantes,
- critères de fonctionnement exigés (tels que le rapport C/I ou $C/(N + I)$) (dB),
- pourcentage de temps pendant lequel les critères de fonctionnement doivent être satisfaits.

Si un système utilise une commande de puissance, les paramètres suivants sont nécessaires:

- puissance minimale d'émission (dBW),
- puissance maximale d'émission (dBW),
- objectif de niveau du signal de réception (dBW).

3 Calcul du brouillage

Les principales fonctions de calcul du brouillage sont les suivantes:

- le calcul des niveaux de puissance des signaux utiles et du signal brouilleur reçus, y compris les effets liés au terrain, à l'atmosphère et aux trajets multiples;
- le facteur d'ajustement de la bande passante intégrant si nécessaire les effets de porteuses multiples dans la bande passante utile ou la densité spectrale de puissance;
- le brouillage cumulatif en boucle induit par les multiples sources.

Le calcul du brouillage est fondé sur les paramètres C (porteuse), I (brouillage) et N (bruit). Pour des brouilleurs multiples, le signal brouilleur cumulatif, I_{agg} , est la somme des brouillages causés par tous les brouilleurs pris séparément. Le calcul de N est fondé sur la température de bruit, T .

$$I_{agg} = 10 \log \sum 10^{I_i/10} \quad \text{dBW}$$

$$N_0 = K_{abs} T_{abs} \text{ (valeur absolue) ou } N_0 = K_{dB} + T_{dB} \quad \text{dB(W/Hz)}$$

où K est la constante de Boltzmann.

En définissant les éléments suivants comme suit:

BWC : bande passante de la porteuse C du signal (dB)

FTC : facteur de largeur de bande pour le signal utile (dB)

FTI : facteur de largeur de bande pour le signal brouilleur (dB),

on peut calculer la formule:

$$N = N_0 + BWC$$

$$I' = I - FTI + FTC$$

Ainsi:

$$C/I = C - I'$$

$$C/N = C - N$$

$$\begin{aligned} C/(N + I) &= C - dB[UndB(N) + UndB(I')] \\ &= dB(1/[1/UndB(C/I) + 1/UndB(C/N)]) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I/N &= UndB(I' - N) \\ &= 10^{(I' - N)/10} \end{aligned}$$

où:

$$dB(x) = 10 \log_{10} x$$

et

$$UndB(x) = 10^{x/10}$$

Les valeurs totales des rapports C/I , C/N et $C/(N + I)$ pour des systèmes analogiques sont calculées comme suit:

$$(C/I)_{total} = dB \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{UndB(C/I)} \right)} \right)$$

$$(C/N)_{total} = dB \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{UndB(C/N)} \right)} \right)$$

$$(C/(N + I))_{total} = dB \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{UndB(C/I)_{total}} \right) + \left(\frac{1}{UndB(C/N)_{total}} \right)} \right)$$

Pour les systèmes à porteuses numériques, il peut y avoir une régénération binaire à chaque bond. La régénération binaire est prise en compte par:

- le calcul du rapport C/X en additionnant les bruits thermiques pour les bonds sans régénération;
- en tenant compte du rapport C/X le plus défavorable pour les tronçons avec régénération.

La dégradation relative de la qualité de service, sur la durée totale d'un essai, est calculée comme suit:

$$\frac{I_{moy}}{N} = \frac{\sum_i \frac{I_i}{N} \cdot t_{étape}}{Durée\ totale}$$

Pour les systèmes à bonds multiples, la dégradation relative de la qualité de service est calculée en utilisant la même procédure que pour le rapport C/X .

3.1 Calcul de la puissance

Le calcul de la puissance est fondé sur l'équation suivante:

$$Puissance_{Rx} = p.i.r.e.Tx + Gain\ relatif_{Tx} - Affaiblissements\ de\ propagation + Gain\ maximal_{Rx} + Gain\ relatif_{Rx}$$

Le niveau de puissance reçu pourrait concerner soit le signal utile, soit le signal brouilleur.

Les modèles de propagation correspondants sont décrits en détail au § 5. Il faut prêter une attention particulière aux gains d'antenne qui varient en fonction des trajets. Deux trajets différents ont été identifiés.

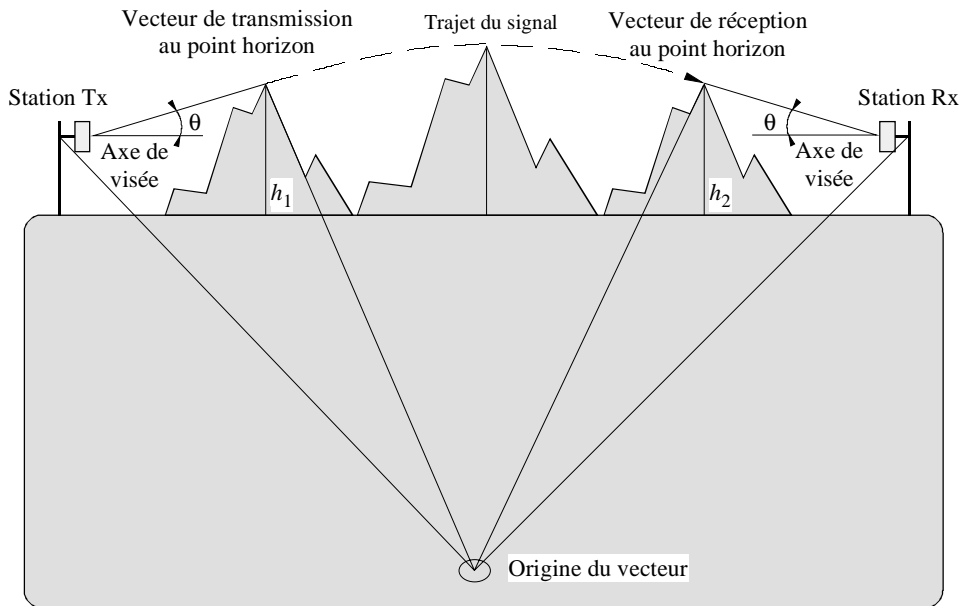
3.1.1 Trajet au-delà de l'horizon radioélectrique

Dans ce cas, le gain relatif en visibilité directe vers l'horizon, dans la direction du trajet radioélectrique, doit être calculé à la fois au niveau de l'émetteur (Tx) et du récepteur (Rx). Le modèle de propagation traite l'affaiblissement entre les stations. Ce type de trajet est représenté à la Fig. 5.

3.1.2 Trajet radioélectrique en visibilité directe

Dans ce cas, les gains relatifs sont fondés sur un trajet rectiligne entre la station d'émission et la station de réception.

FIGURE 5
Gain hors axe en direction de l'horizon, pour des trajets
au-delà de l'horizon radioélectrique



1335-05

3.2 Modélisation de la propagation

Le présent paragraphe contient une présentation générale des modèles de propagation applicables. Ces modèles sont décrits de manière détaillée au § 5.

L'analyse du brouillage fait la distinction entre signaux brouilleurs et signaux utiles. Pour les affaiblissements en visibilité directe, la Recommandation UIT-R P.530-6 (Genève, 1995) s'applique aux signaux utiles et la Recommandation UIT-R P.452 s'applique aux signaux brouilleurs.

Ces Recommandations (c'est-à-dire les Recommandations UIT-R P.530-6 et UIT-R P.452) sont actuellement en cours de révision et le présent paragraphe a pour but de spécifier l'algorithme. Les algorithmes pertinents sont inclus dans un souci d'exhaustivité dans cette Recommandation sur la base des équations existantes dans les Recommandations UIT-R P.530-6 et UIT-R P.452. Cependant, ces algorithmes seraient généralement applicables aux nouvelles versions des Recommandations UIT-R P.530-6 et UIT-R P.452, bien que la forme spécifique des équations contenues ici puisse être modifiée.

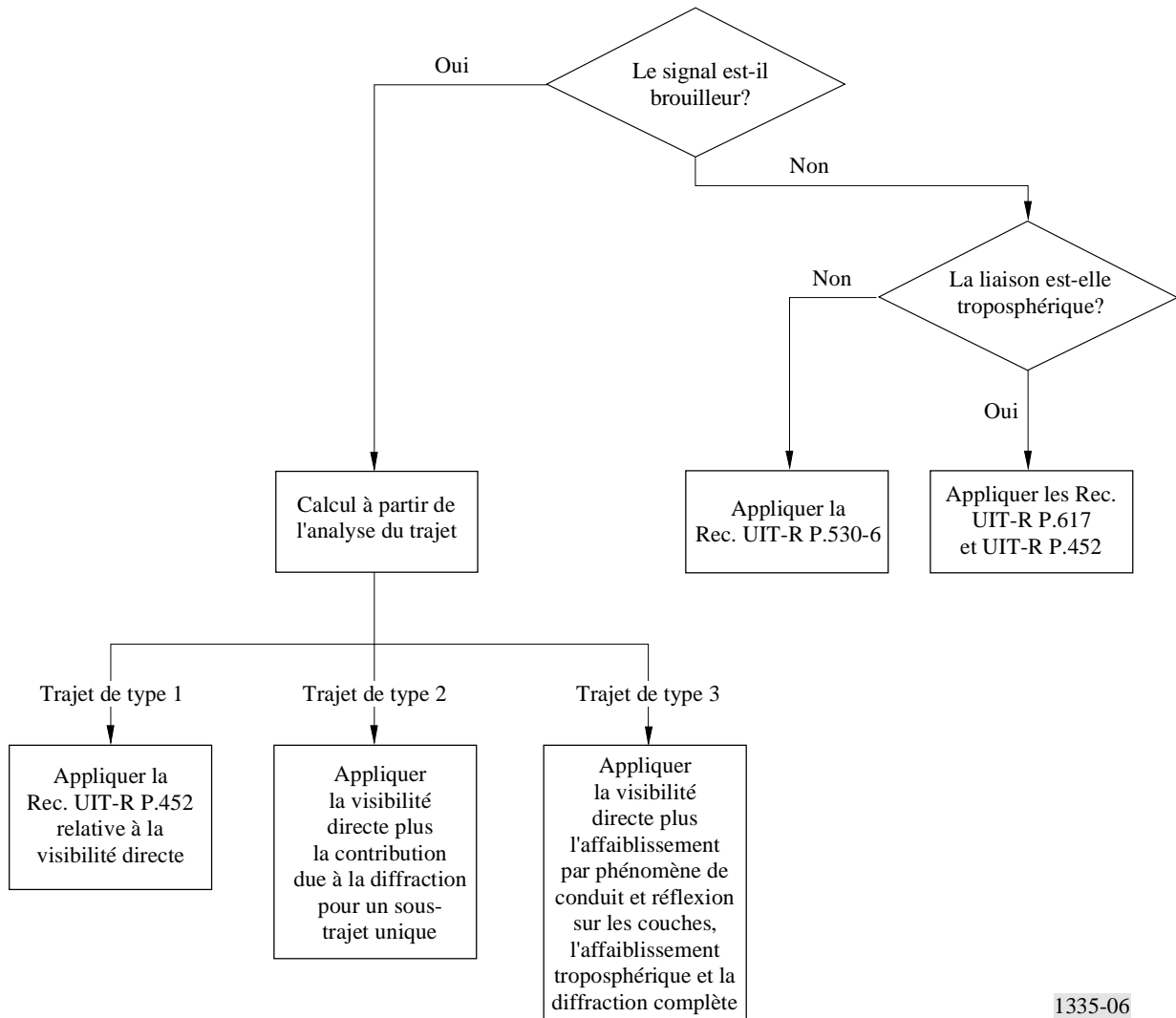
Les liaisons fixes en visibilité directe peuvent être modélisées en utilisant la méthode de planification initiale de la Recommandation UIT-R P.530-6, associée à un affaiblissement de trajet en espace libre. Cette méthode donne une distribution de l'évanouissement et du renforcement dû aux trajets multiples en fonction de la longueur de la liaison, de la fréquence, des hauteurs d'antenne et des paramètres météorologiques.

La Recommandation UIT-R P.452 décrit la manière dont des modèles de propagation de plusieurs modes sont appliqués aux liaisons d'usage général. Pour le calcul de l'affaiblissement de propagation dû au terrain, les trajets brouilleurs peuvent être divisés en trois types:

- les trajets de type 1, en visibilité directe avec dégagement de la première zone de Fresnel,
- les trajets de type 2, en visibilité directe sans dégagement de la première zone de Fresnel en tous points du terrain,
- les trajets de type 3, transhorizon avec un ou plusieurs obstacles entre l'émetteur et le récepteur.

Le type de trajet est alors utilisé pour déterminer les modèles d'affaiblissement applicables, conformément à la Fig. 6.

FIGURE 6
Modélisation de la propagation



1335-06

Les affaiblissements dus à différents phénomènes sont combinés conformément au Tableau 5 de la Recommandation UIT-R P.452.

4 Résultats de l'analyse intraservice fixe

Les résultats peuvent prendre diverses formes et principalement:

- statistique: telle que la probabilité de brouillage, ou
- l'évolution dans le temps.

Des données statistiques peuvent être collectées pour chacun des paramètres suivants:

- C ,
- I ,
- N ,
- C/I ,
- C/N ,
- $(N + I)$,
- I/N .

Les calculs statistiques suivants peuvent, le cas échéant, être effectués:

- brouillage à source unique,
- brouillage cumulatif,
- brouillage dans un seul bond,
- brouillage de bout en bout d'un système.

En général, ces valeurs présentent un intérêt lorsqu'elles dépassent des niveaux spécifiés (rapports de protection ou niveaux de déclenchement). En cas de violation d'un rapport de protection, cette situation est désignée par le terme événement de brouillage. Les paramètres statistiques utiles liés aux événements de brouillage sont:

- les pourcentages de temps pendant lesquels le brouillage a lieu,
- le nombre d'événements de brouillage,
- la durée moyenne des événements de brouillage,
- l'événement de brouillage le plus long,
- la durée de l'événement de brouillage le plus long,
- l'événement de brouillage le plus défavorable,
- la durée de l'événement de brouillage le plus défavorable,
- la valeur moyenne: dégradation relative de la qualité de fonctionnement pour I/N ,
- la distribution des valeurs.

La distribution peut alors être représentée sous la forme, soit:

- d'une fonction de distribution de probabilité, soit,
- d'une fonction de distribution cumulative.

Il peut également être utile de disposer de plusieurs niveaux de critères afin de générer des paramètres statistiques multiples.

Par exemple:

- des niveaux de brouillage pendant 20% du temps, ou
- des niveaux de brouillage pendant 0,01% du temps.

5 Modèles d'affaiblissement

Le présent paragraphe décrit de manière détaillée les modèles d'affaiblissement de la propagation applicables à des trajets de brouillage terrestre fondés sur des Recommandations UIT-R.

5.1 Modèle d'évanouissement et de renforcement spécifié dans la Recommandation UIT-R P.530-6

La Recommandation UIT-R P.530-6 décrit un modèle du service fixe en visibilité directe, en spécifiant le rapport entre la profondeur d'évanouissement et la probabilité qu'une profondeur d'évanouissement soit dépassée ainsi que le degré de renforcement et le pourcentage de temps pendant lequel la valeur de renforcement n'est pas dépassée.

Le modèle d'évanouissement de la Recommandation UIT-R P.530-6 comporte quatre parties:

- des équations normalisées pour une profondeur d'évanouissement supérieure à 25 dB,
- une extrapolation pour une profondeur d'évanouissement inférieure à 25 dB,
- des équations pour un renforcement de la propagation supérieur à 10 dB,
- des équations pour un renforcement de la propagation compris entre 0 et 10 dB.

La Recommandation UIT-R P.530-6 propose deux méthodes d'évaluation du modèle d'évanouissement. La Méthode 1 décrite ci-dessous est destinée à être utilisée pour la planification et la conception des liaisons.

Lorsque le modèle d'évanouissement par trajets multiples est utilisé, le modèle de renforcement doit également être pris en compte. Les évanouissements à long et court terme ainsi que le renforcement définissent une fonction de distribution cumulative qui peut être utilisée dans une simulation de Monte-Carlo de la profondeur d'évanouissement. Un nombre aléatoire est généré et utilisé pour définir un pourcentage de temps pour lequel la fonction de distribution cumulative doit

être inversée. Cette inversion de la fonction de distribution cumulative est une méthode normalisée pour l'échantillonnage de distributions non normalisées et peut toujours être réalisée, selon le niveau de précision requis, au moyen d'un algorithme de hachage binaire.

Les équations utilisées pour le calcul de la probabilité d'un évanouissement donné et d'un renforcement donné sont décrites en détail ci-après.

Le pourcentage de temps, p_w , pendant lequel la profondeur d'évanouissement, A (dB), est dépassée pour le mois le plus défavorable moyen est donné par l'expression suivante (valable pour les petits pourcentages de temps):

$$p_w = K Q f^B d^C 10^{-A/10}$$

où:

K, Q, B, C sont définis comme suit:

$$B = 0,89$$

$$C = 3,6$$

$$Q = \left(1 + |\varepsilon_p|\right)^{-1,4}$$

où:

ε_p : inclinaison du trajet (mrad), donnée par l'expression $|\varepsilon_p| = |h_1 - h_2| / d$

h_1, h_2 : hauteurs d'antenne (m) au-dessus du niveau de la mer

d : longueur du trajet (km)

f : fréquence (GHz)

K : facteur géoclimatique pour le mois le plus défavorable moyen du point de vue de l'évanouissement.

Si les paramètres nécessaires pour estimer K , c'est-à-dire le facteur géoclimatique, ne sont pas disponibles, K peut être trouvé en utilisant une autre méthode telle que les cartes de profil des Fig. 7 à 10 de la Recommandation UIT-R P.453 pour le pourcentage de temps p_L au cours duquel le gradient de réfraction moyenne, dans les premiers 100 m de l'atmosphère, est inférieur à -100 unités N/km, associé aux relations empiriques suivantes applicables à K donné dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Type de trajet	K (Méthode 1)
Au-dessus de terres non montagneuses	$10^{-(6,5 - C_{Lat} - C_{Lon})p_L^{1,5}}$
Au-dessus de terres montagneuses	$10^{-(7,1 - C_{Lat} - C_{Lon})p_L^{1,5}}$
Au-dessus d'étendues d'eau moyennes	$10^{-(5,9 - C_{Lat} - C_{Lon})p_L^{1,5}}$
Au-dessus d'étendues d'eau importantes	$10^{-(5,5 - C_{Lat} - C_{Lon})p_L^{1,5}}$

Dans le Tableau 2, p_L est la probabilité de pourcentage de temps pendant lequel le gradient de réfraction $\delta M / \delta h$, mesuré dans les premiers 100 m au-dessus du sol, est inférieur à -100 unités N/km. Les coefficients C_{Lat} à une latitude ζ sont donnés par:

$$C_{Lat} = 0 \quad \text{pour} \quad |\zeta| \leq 53$$

$$C_{Lat} = -5,3 + \zeta / 10 \quad \text{pour} \quad 53 < |\zeta| < 60$$

$$C_{Lat} = 0,7 \quad \text{pour} \quad |\zeta| \geq 60$$

Les coefficients C_{Lon} , pour les différentes longitudes, sont donnés par:

$$C_{Lon} = 0,3 \quad \text{pour des longitudes d'Europe et d'Afrique}$$

$$C_{Lon} = -0,3 \quad \text{pour des longitudes d'Amérique du Nord et du Sud}$$

$$C_{Lon} = 0 \quad \text{pour toutes les autres longitudes.}$$

Le pourcentage de temps p_w pendant lequel la profondeur d'évanouissement A (dB) est dépassée pour des pourcentages de temps importants, c'est-à-dire $A < 25$ dB ou $A < 35$ dB, est donné par:

$$p_w = 100 \left[1 - \exp \left(-10^{-q_a A/20} \right) \right] \quad \%$$

où:

$$q_a = 2 + 10^{-0,016A} \left[1 + 0,3 \times 10^{-A/20} \right] \left[q_t + 4,3 \left(10^{-A/20} + A / 800 \right) \right]$$

Calculer la valeur de q'_a pour la profondeur d'évanouissement $A = 35$ dB en utilisant la valeur correspondante de p_w :

$$q'_a = \frac{-20 \log_{10} \left[-\ln \left(\frac{100 - p_w}{100} \right) \right]}{A}$$

puis calculer la valeur du paramètre q_t :

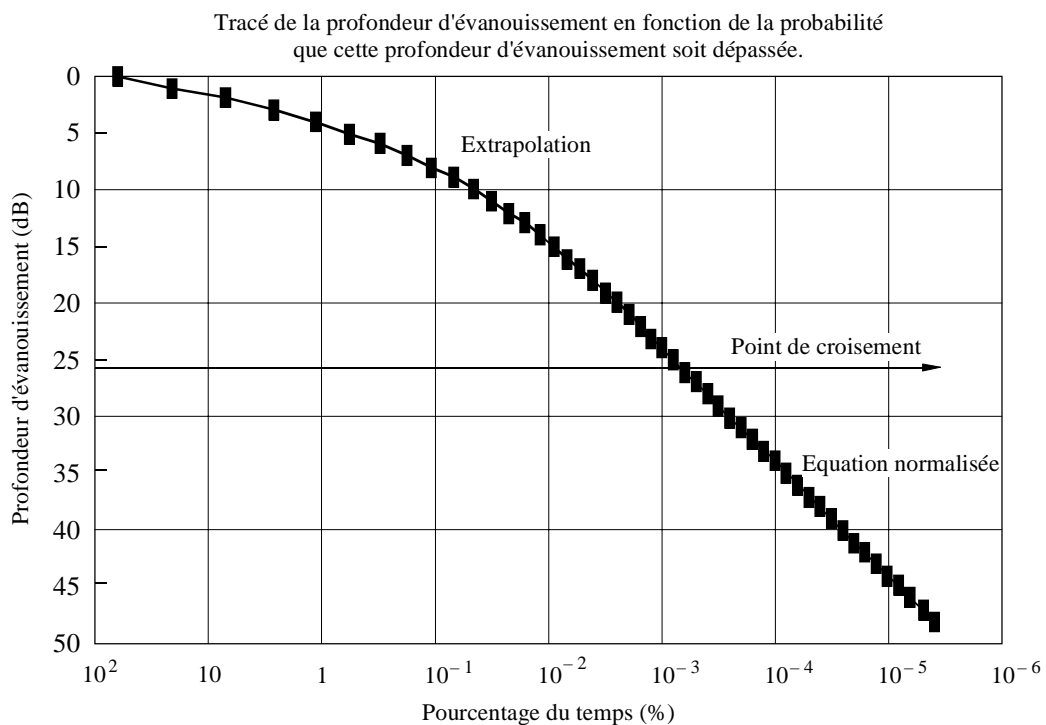
$$q_t = \frac{(q'_a - 2)}{10^{-0,016A} \left[1 + 0,3 \times 10^{-A/20} \right]} - 4,3 \left(10^{-A/20} + A / 800 \right)$$

Si $q_t > 0$, il convient alors de réévaluer les équations ci-dessus pour $A = 25$ dB.

Ceci est illustré à la Fig. 7:

FIGURE 7

Distribution de la profondeur d'évanouissement de la Recommandation UIT-R P.530-6



5.1.1 Modèle de renforcement

La distribution du renforcement est également donnée dans la Recommandation UIT-R P.530-6. La prédiction du renforcement au-dessus de 10 dB pendant le mois le plus défavorable moyen est effectuée en utilisant la formule suivante:

$$p_w = 100 - 10^{(-1,7 + 0,2A_{0,01} - E)/3,5} \quad \% \quad \text{pour } E > 10 \text{ dB} \quad (1)$$

où:

E : renforcement (dB) non dépassé pendant $p\%$ du temps

$A_{0,01}$: profondeur de l'évanouissement dépassée pendant $p_w = 0,01\%$ du temps:

$$A_{0,01} = 10 \log \left(\frac{0,01}{K Q f^B d^C} \right)$$

où les valeurs de Q , B et C varient en fonction de la Méthode 1 ou de la Méthode 2 utilisée pour le modèle d'évanouissement.

Le pourcentage de temps au cours duquel le renforcement E n'est pas dépassé ou s'inscrit entre 0 et 10 dB est donné par l'expression:

$$p_w = 100 - 58,21 \left[1 - \exp \left(-10^{-q'_e E/20} \right) \right]$$

où le paramètre q_e est calculé comme suit:

Etape 1: calculer le pourcentage de temps p'_w pendant lequel le renforcement est inférieur ou égal à 10 dB ($E' = 10$ dB) en utilisant l'équation (1)

Etape 2: calculer q'_e :

$$q'_e = -2 \left[\log_{10} \left(-\ln \left(1 - \frac{100 - p'_w}{58,21} \right) \right) \right]$$

Etape 3: calculer q_s :

$$q_s = 2,05 q'_e - 20,3$$

Etape 4: calculer q_e :

$$q_e = 8 + \left(1 + 0,3 \times 10^{-E/20} \right) \left(10^{-0,7E/20} \right) \left[q_s + 12 \left[10^{-E/20} + E/800 \right] \right]$$

5.2 Calcul de l'affaiblissement à partir de la Recommandation UIT-R P.452

La Recommandation UIT-R P.452 décrit une méthode de calcul de l'affaiblissement général fondée sur les analyses du profil du trajet radioélectrique.

5.3 Modèle d'affaiblissement de diffraction sur la base du terrain

Pour les liaisons brouilleuses, il convient de calculer l'affaiblissement de diffraction sur la base de la Recommandation UIT-R P.526.

Pour les trajets de type 2, seule la contribution de sous-trajet sera calculée. Cette contribution est supposée être due au point du terrain ayant l'intrusion la plus importante dans la première zone de Fresnel. Ce point sera modélisé comme un obstacle à arête en lame de couteau. Pour les trajets de type 3, les paramètres d'obstacle seront calculés sous la forme d'un tableau. Chaque obstacle sera modélisé comme un cylindre et l'affaiblissement total sera calculé par la méthode générale donnée dans la Recommandation UIT-R P.526.

Sur la base du tableau d'obstacles pour le trajet donné, l'affaiblissement de diffraction total (dB) sera calculé à partir de l'expression suivante:

$$L_d = \sum_{obstacles} L_c + \sum_{sous-trajets} L_{ds} - 20 \log \left[\frac{(s_1 s_2 \dots s_{n+1})(s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_{N+1})}{(s_1 + s_2)(s_2 + s_3) \dots (s_N + s_{N+1}) s_1 s_{N+1}} \right]^{1/2}$$

où les termes L_c sont les contributions dues à chaque obstacle cylindrique, L_{ds} la contribution maximale due aux sous-trajets situés entre chaque paire d'obstacles cylindriques et s_i les distances au centre de chaque obstacle sur le trajet le long du grand cercle du terrain moyen.

Si le trajet est de type 2 ou de type 3, il sera ajouté à l'affaiblissement de propagation global un terme qui résulte de la diffraction. Si le trajet est de type 2, seul le terme de sous-trajet est inclus.

Le terme L_c est égal au terme de l'arête en lame de couteau plus l'atténuation due à la courbure de l'obstacle telle que définie dans la Recommandation UIT-R P.526 et exprimée par la formule:

$$L_c = 0,0316 h \left[\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2} \right]^{1/2} + k m^b$$

où:

$$k = 8,2 + 12 n$$

$$b = 0,73 + 0,27[1 - \exp(-1,43 n)]$$

et

$$m = R \left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right] \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{-1/3}$$

$$n = h \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{2/3} R^{-1}$$

où:

h : hauteur du sommet de l'obstacle au-dessus de la ligne droite joignant les deux extrémités du trajet. Si la hauteur est sous cette ligne, la valeur h est négative

d_1, d_2 : distances des 2 extrémités du trajet à partir du sommet de l'obstacle

d : longueur du trajet.

5.3.1 Affaiblissement de diffraction dû à un obstacle à arête en lame de couteau

La diffraction au-dessus d'un obstacle à arête en lame de couteau peut entraîner un affaiblissement ou un renforcement selon la valeur n du paramètre sans dimension de Fresnel-Kirchoff. Le calcul de n est décrit de manière détaillée dans le document de conception des modules de terrain.

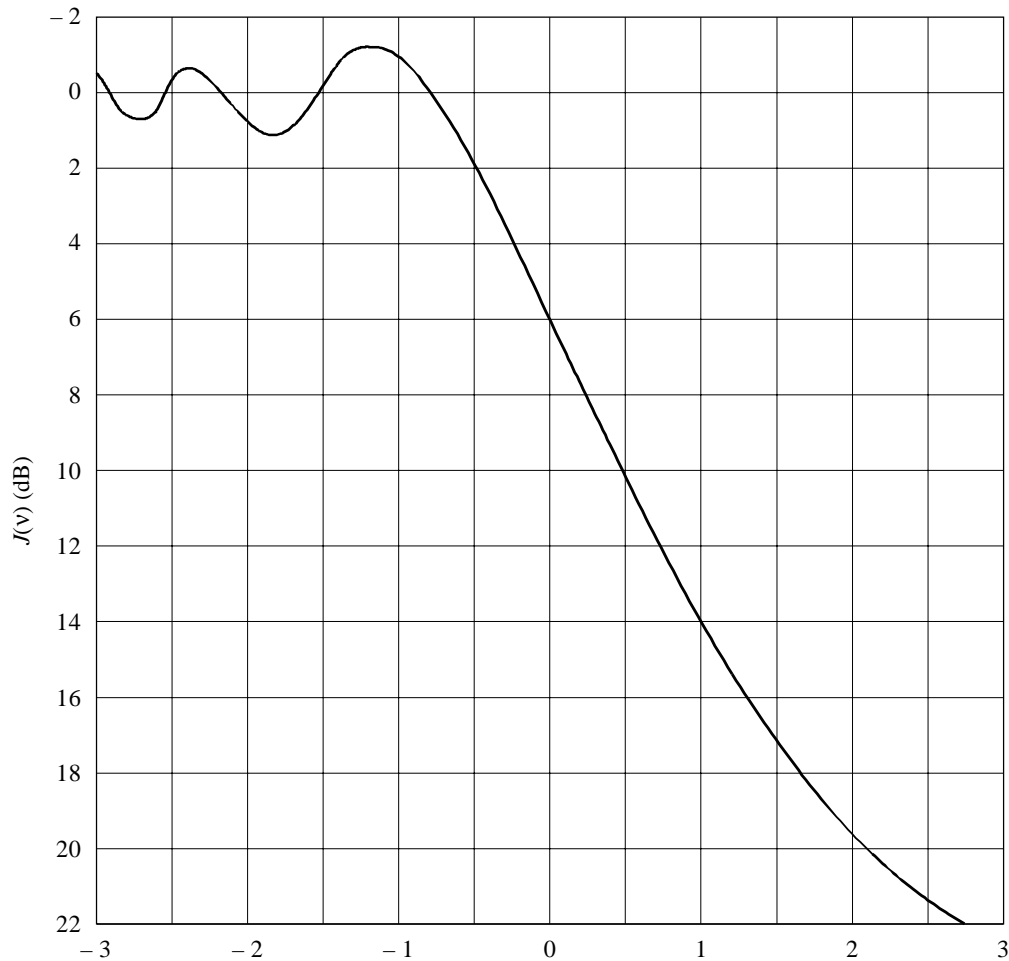
Une fois n connu, l'affaiblissement peut être calculé. Pour des valeurs de n supérieures à $-0,7$, l'affaiblissement dû à une arête en lame de couteau (dB) est obtenu par l'expression

$$J(v) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right)$$

Pour des valeurs inférieures à $-0,7$, l'affaiblissement peut être calculé à partir de la Fig. 8 extraite de la Recommandation UIT-R P.526.

FIGURE 8

Affaiblissement de diffraction sur une arête en lame de couteau



1335-08

5.4 Analyse selon la méthode de la corde tendue et modélisation des obstacles

5.4.1 Caractérisation du trajet

Le présent paragraphe décrit la manière dont sont extraits du profil de trajet les paramètres de trajet nécessaires pour classer le trajet selon la Recommandation UIT-R P.452. Les paramètres calculés sont donnés dans le Tableau 3. Le § 5.3 décrit des paramètres supplémentaires nécessaires au calcul de l'affaiblissement de diffraction. Avant caractérisation du trajet, il est ajouté, en chaque point du profil de trajet, un terme permettant de prendre en compte la courbure de la Terre. Ce terme dépend de la longueur le long du trajet et du facteur de rayon de la Terre. Il est à noter que si le trajet est caractérisé en utilisant une valeur moyenne pour la courbure de la Terre, selon le § 3.2.2 de la Recommandation UIT-R P.452 et qu'ensuite les obstacles sont analysés au moyen d'un facteur de courbure de la Terre différent, la classification du trajet peut changer.

D'autres paramètres, donnés dans le Tableau 3 de la Recommandation UIT-R P.452, font référence aux trajets au-dessus d'étendues d'eau et à des hauteurs d'antenne au-dessus du niveau de la mer. Dans la présente simulation, il s'agit d'entrées spécifiques à l'utilisateur.

Ces paramètres sont alors utilisés pour classer le trajet selon l'un des types suivants:

Type 1: en visibilité directe avec dégagement de la première zone de Fresnel;

Type 2: en visibilité directe sans dégagement de la première zone de Fresnel en tous points du terrain;

Type 3: transhorizon avec un ou plusieurs obstacles entre l'émetteur et le récepteur.

TABLEAU 3

Paramètres de caractérisation du trajet

Paramètre	Description
d	Grand cercle, longueur du trajet (km)
d_{lr}, d_{lr}	Distance entre les stations d'émission et de réception et leurs horizons moyens respectifs (km)
q_{ht}, q_{hr}	Angles d'élévation par rapport à l'horizon à l'émission et à la réception, c'est-à-dire l'angle relatif aux points de terrain concernés les plus élevés (mrad)
q_{ft}	Angle relatif à l'ellipsoïde de la première zone de Fresnel du point de terrain d'élévation maximale
q_{rt}	Angle d'élévation de la station de réception par rapport à la station d'émission (inclinaison du trajet)
q	Distance angulaire du trajet (mrad)
h_{te}, h_{re}	Hauteurs équivalentes des antennes au-dessus du terrain, réajustées par la méthode des moindres carrés au profil du trajet (m)

Un trajet est:

- de type 1 si $q_{rt} > q_{ft}$
- de type 2 si $q_{ht} < q_{rt} \leq q_{ft}$
- de type 3 si $q_{rt} \leq q_{ht}$.

Le calcul de chaque paramètre est donné ci-après.

5.4.2 Classement des trajets

Le trajet sera classé dans l'un des trois types mentionnés selon que le canal est en visibilité directe, qu'il a un dégagement de la première zone de Fresnel ou qu'il est transhorizon. Pour le type 3, les obstacles seront trouvés par analyse selon la méthode de la corde tendue et seront représentés par des cylindres. Entre chaque paire de cylindres, un seul point de diffraction de sous-trajet sera modélisé comme une arête en lame de couteau (voir le § 5.3.1). Pour des canaux en visibilité directe sans zone de Fresnel dégagée, le point de terrain ayant l'intrusion la plus importante dans la zone de Fresnel (voir le § 5.3.1) sera traité comme une arête en lame de couteau.

Les calculs décrits ici ont pour entrées la structure du trajet dont les hauteurs au-dessus du niveau de la mer et le nombre de points de trajet sont déjà connus. Il convient d'ajouter un terme de courbure à toutes les hauteurs de terrain, en supposant un rayon terrestre médian pour les données de trajet. Ce rayon médian est défini sur la base des données géoclimatiques obtenues lors de la mise en place de l'étude.

Pour trouver l'angle d'horizon de l'émetteur, réunir tous les vecteurs du trajet et obtenir l'angle d'élévation (mrad) en chaque point, à partir de la formule suivante:

$$\theta = \frac{h_n - h_t}{d_n}$$

où:

- h_n : hauteur au-dessus du niveau moyen de la mer (m) du n^e point du terrain
- h_t : hauteur au-dessus du niveau moyen de la mer (m) de l'antenne brouilleuse
- d_n : distance (km) de l'antenne brouilleuse au n^e élément du terrain.

Relever la valeur la plus élevée et le point de trajet qui a produit cette valeur. Cette valeur est q_{ht} et la distance à ce point est d_{lr} .

De même, pour chaque point, la valeur de l'angle à l'ellipsoïde de la première zone de Fresnel, q_{ft} , est calculée en remplaçant h_n par:

$$h_n \rightarrow h_n + 17,392 \sqrt{\frac{d_n(d - d_n)}{d f}}$$

où:

- d : longueur totale du trajet (km)
- f : fréquence (GHz).

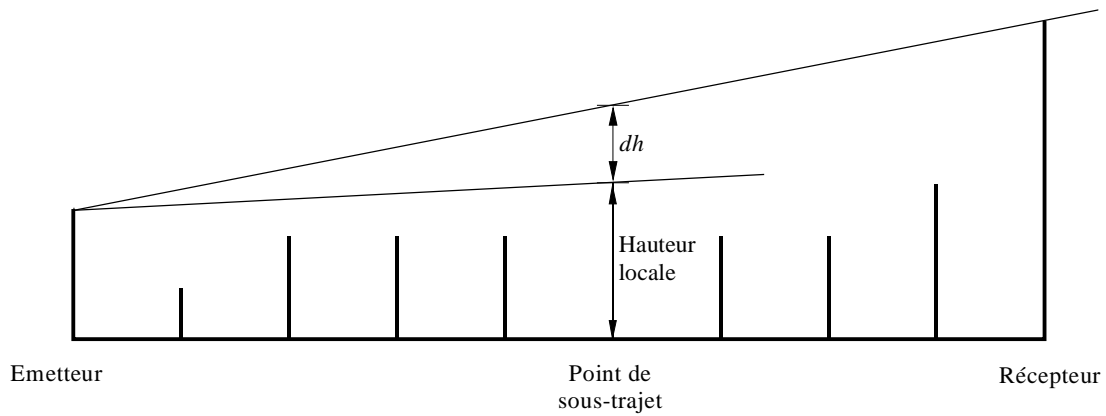
L'angle d'élévation à la station de réception q_{ft} est calculé en remplaçant h_n et d_n par h_r et d dans l'équation utilisée ci-dessus pour calculer q .

Si $q_{rt} \leq q_{ht}$, le trajet est de type 3 et les paramètres d'horizon pour la station réceptrice doivent être calculés.

Si $q_{ht} < q_{rt} \leq q_{ft}$, le trajet est alors de type 2.

Si le trajet est de type 2 ou 3, il est nécessaire de connaître les angles et les distances pour calculer l'affaiblissement; ces valeurs seront mémorisées avec le profil du trajet, c'est-à-dire les angles d'horizon, les distances et les points du terrain qui peuvent contribuer aux affaiblissements de sous-trajet.

FIGURE 9
Exemple de profils de trajets de type 1 et 2



Terrain avec trajet de type 2

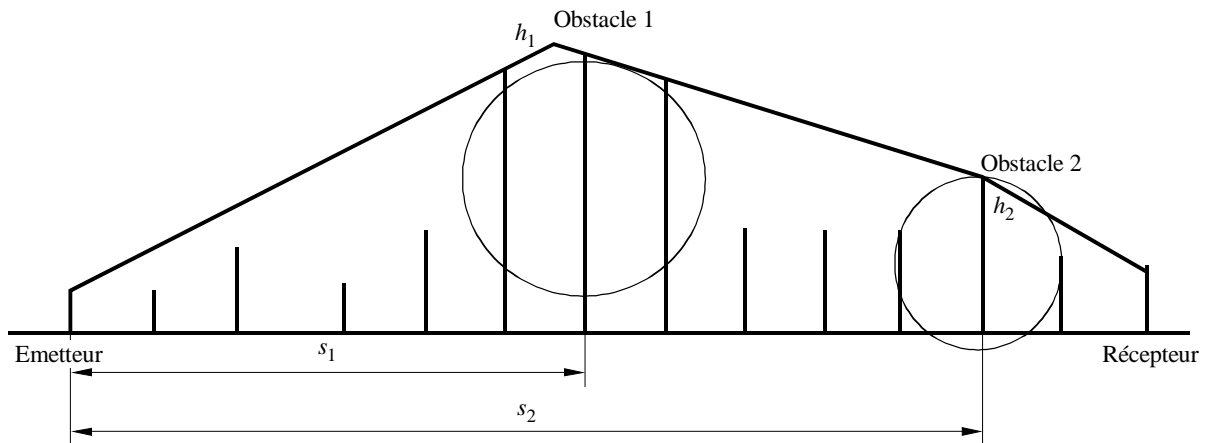
dh + hauteur locale inférieure au rayon de la première zone de Fresnel

Terrain avec trajet de type 1

dh + hauteur locale supérieure au rayon de la première zone de Fresnel

1335-09

FIGURE 10
Exemple de profil de trajet de type 3



Profil de terrain avec deux obstacles cylindriques

1335-10

5.4.3 Caractérisation des obstacles de diffraction

Pour les calculs de diffraction, il est nécessaire que les positions, hauteurs et rayons des obstacles soient calculés à partir du profil de trajet. La diffraction doit être incluse si le trajet est de type 2 ou de type 3. Si le trajet est de type 2, seul l'élément de diffraction de sous-trajet, à partir du point dominant de sous-trajet, doit être pris en compte.

La méthode utilisée pour la caractérisation des obstacles est décrite dans les paragraphes suivants.

5.4.3.1 Identification et classification des obstacles de diffraction

Les emplacements des obstacles seront identifiés par analyse selon la méthode de la corde tendue suggérée dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.452.

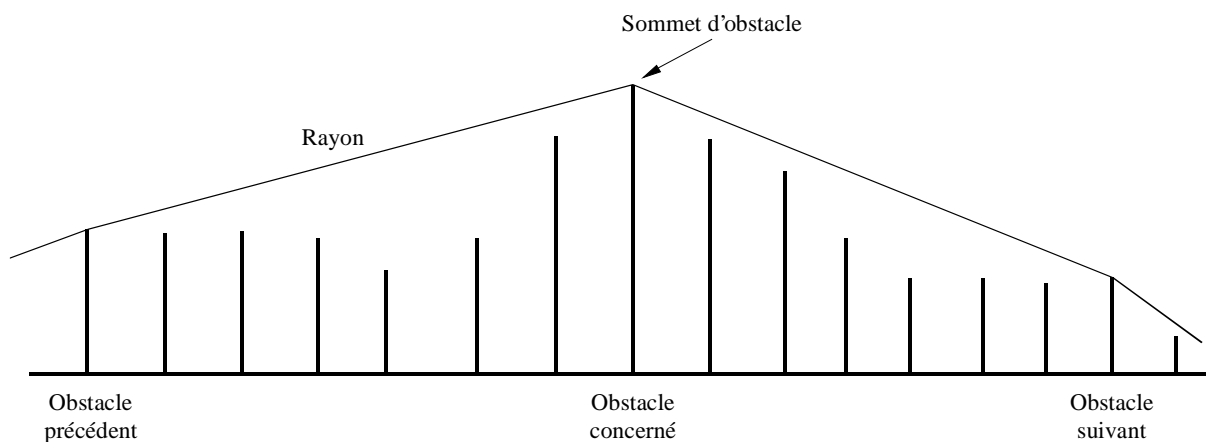
Le premier obstacle commence au point de l'horizon vu sur un trajet le long d'un grand cercle, de la station d'émission vers la station de réception. L'obstacle se termine au point d'horizon obtenu en regardant vers l'arrière le long du trajet à partir du sommet de l'obstacle suivant ou du récepteur. Le second obstacle part du point d'horizon vu de l'extrémité du premier obstacle sur le trajet vers la station de réception. Le processus d'identification des obstacles se poursuit jusqu'à ce qu'il y ait visibilité directe à partir du dernier obstacle trouvé vers la station de réception.

Une fois tous les obstacles identifiés, la classification localisera tous les sommets d'obstacle dont les caractéristiques peuvent être calculées.

Si le point d'horizon à partir de l'obstacle précédent (ou de l'émetteur) et le point d'horizon à partir de l'obstacle suivant (ou du récepteur) forment un même point, l'obstacle est appelé obstacle à point unique. (Voir la Fig. 11). Il peut également y avoir des obstacles à points multiples, comme illustré à la Fig. 12, pour lesquels il existe un intervalle entre les points d'horizon mentionnés ci-dessus. Le sommet de l'obstacle est défini comme étant l'intersection de trajets imaginaires à partir des obstacles adjacents. La Fig. 11 illustre l'emplacement du sommet d'un obstacle à point unique et la Fig. 12 illustre un obstacle à points multiples.

Obstacle à point unique

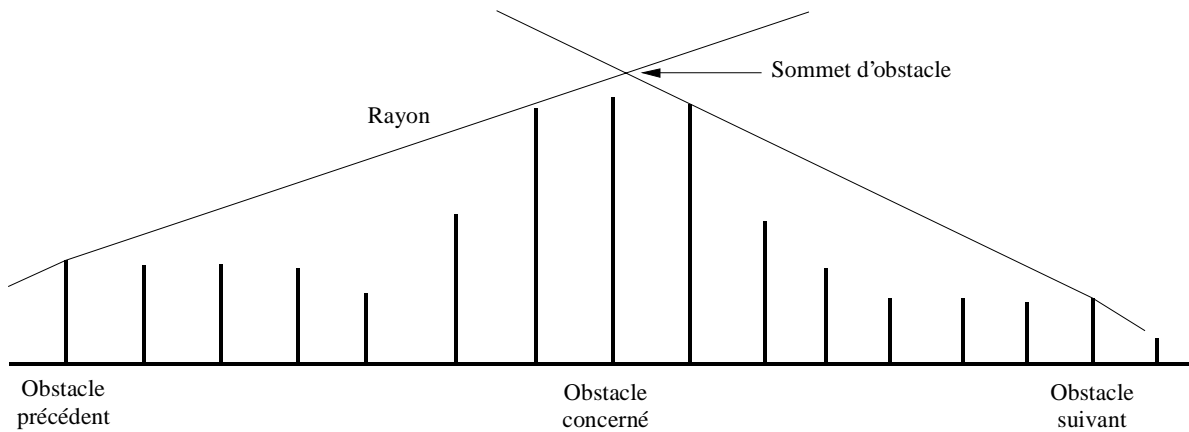
FIGURE 11
Obstacle à point unique



Obstacle à points multiples

On parle d'obstacle à points multiples lorsque le rayon partant de l'obstacle précédent et le rayon partant de l'obstacle suivant ne se croisent pas en un seul point du trajet: ce type d'obstacle est illustré à la Fig. 12.

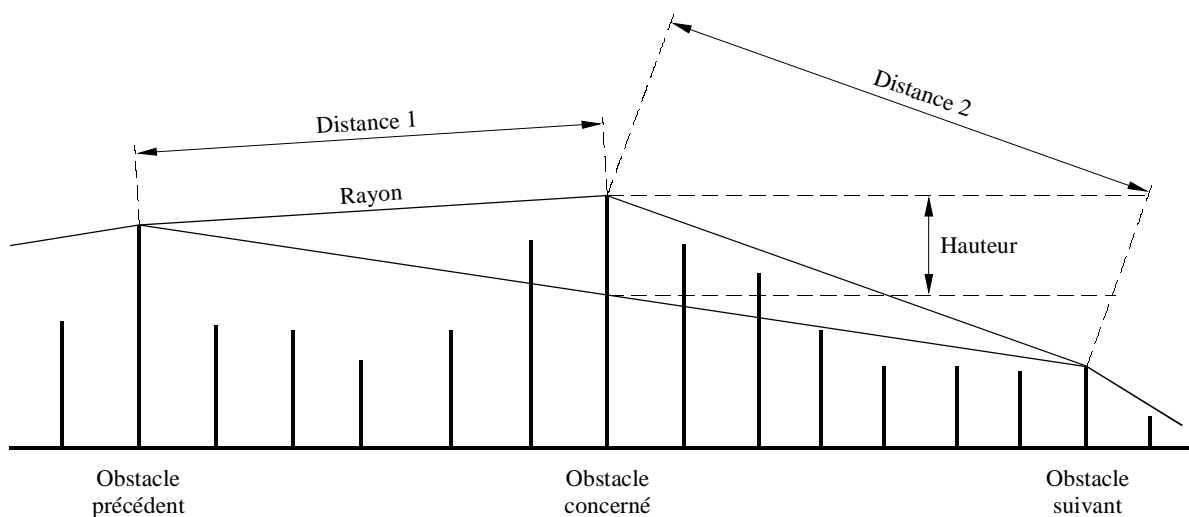
FIGURE 12
Obstacle à points multiples



1335-12

Une fois les sommets des obstacles déterminés, la hauteur, la distance par rapport à l'obstacle précédent et la distance par rapport à l'obstacle suivant seront calculées comme illustré à la Fig. 13.

FIGURE 13
Paramètres d'obstacles

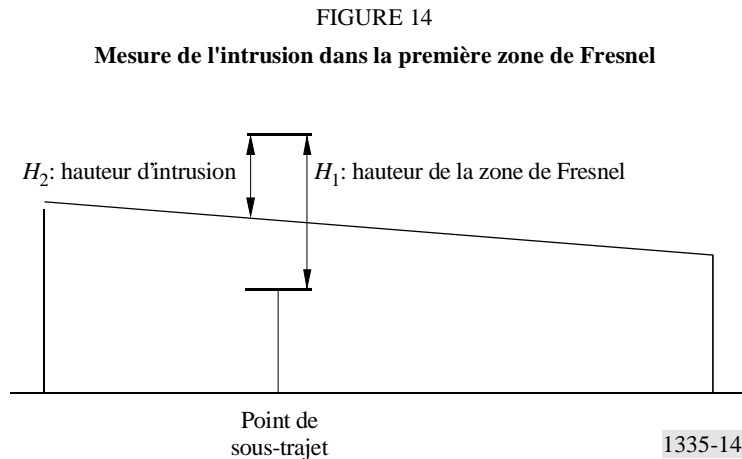


1335-13

Le rayon de chaque obstacle sera calculé à partir de la différence de pente entre le trajet immédiatement avant le début de l'obstacle et le trajet immédiatement après la fin de l'obstacle.

5.4.3.2 Détermination de la contribution à la diffraction de sous-trajet dominant

Lorsqu'il n'y a pas de dégagement de la première zone de Fresnel, les effets de la diffraction de sous-trajet peuvent être quantifiés. La Recommandation UIT-R P.526 prescrit le calcul d'une contribution unique entre chaque paire d'obstacles. La contribution sera tirée du point du terrain ayant l'intrusion la plus importante dans la première zone de Fresnel. L'intrusion sera mesurée comme étant le rapport de H_1 et H_2 , comme illustré à la Fig. 14. Le point ayant la valeur H_1/H_2 la plus importante sera le point de sous-trajet.



Le point de sous-trajet sera modélisé comme une arête en lame de couteau. La valeur utilisée pour h (hauteur de l'arête en lame de couteau) est la distance entre la corde tendue et le sommet de l'arête en lame de couteau (il convient que cette valeur soit négative).

Pour les trajets de type 2, il convient d'inclure une contribution unique due à la diffraction de sous-trajet.

Pour les trajets de type 3, une contribution de sous-trajet doit être incluse entre chaque paire de cylindres touchés par la corde tendue. La contribution maximale sera calculée comme pour les trajets de type 2.

5.5 Modèle d'affaiblissement de trajet transhorizon

La propagation transhorizon pour des fréquences supérieures à 30 MHz peut résulter de la diffraction ou de la diffusion engendrée par des irrégularités atmosphériques. Du fait de l'atténuation rapide de l'onde diffractée en fonction de la portée et de la fréquence, le principal phénomène utilisé pour établir des liaisons transhorizon est la diffusion troposphérique.

Ces modèles sont applicables à des trajets brouilleurs de type transhorizon et n'ayant pas de dégagement de la première zone de Fresnel.

5.5.1 Méthode 1 – Distribution de l'affaiblissement d'émission médian en moyenne annuelle pour des pourcentages de temps supérieurs à 50%

L'affaiblissement d'émission en moyenne annuelle non dépassé pendant q % du temps est donné par l'expression:

$$L(q) = M + 30 \log f + 10 \log d + 30 \log \theta + L_N - Y(q) - G_t - G_r$$

où:

- M : paramètre météorologique (dB)
- f : fréquence (MHz)
- d : longueur du trajet (km)
- θ : angle de diffusion
- L_N : affaiblissement qui dépend de la hauteur du volume commun
- $Y(q)$: facteur de conversion pour des pourcentages q de non-dépassement autres que 50%
- G_t, G_r : gains d'antennes.

Le Tableau 4 donne les valeurs météorologiques de M (dB) pour les zones climatiques définies dans la Recommandation UIT-R P.617.

TABLEAU 4

Climat	1	2	3	4	6	7a	7b
M (dB)	39,60	29,73	19,30	38,50	29,73	33,2	26,00

L'angle de diffusion est calculé à partir de l'expression:

$$\theta = \theta_e + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

où:

θ_t, θ_r : angles d'horizon de l'émetteur et du récepteur respectivement

$$\theta_e = d \times 10^3 / k a \quad \text{mrad}$$

où:

k : facteur du rayon terrestre équivalent pour des conditions de réfraction médianes (4/3)

a : rayon terrestre (6 370 km).

L_N est un affaiblissement qui dépend de la hauteur du volume commun et est donné par l'expression:

$$L_N = 20 \log \left(5 + \gamma 10^{-3} \theta d / 4 \right) + 4,34 \gamma 10^{-6} \theta^2 k a / 8 \quad \text{dB}$$

γ dépend également de la zone climatique et est donnée dans le Tableau 5.

TABLEAU 5

Climat	1	2	3	4	6	7a	7b
γ (km ⁻¹)	0,33	0,27	0,32	0,27	0,27	0,27	0,27

$Y(q)$ est le facteur de conversion pour des pourcentages q de non-dépassement autres que 50% et est calculé à partir de l'expression:

$$Y(q) = C(q) Y(90)$$

$Y(90)$ est le facteur de conversion pour $q = 90\%$ et dépend du climat:

$$Y(90) = -2,2 - (8,1 - 2,3 \times 10^{-4} f) \exp(-0,137 h) \quad \text{dB} \quad \text{pour les climats 2, 6 et 7a}$$

$$Y(90) = -9,5 - 3 \exp(-0,137 h) \quad \text{dB} \quad \text{pour le climat 7b}$$

Pour d'autres climats, la valeur de $Y(90)$ peut faire l'objet d'une extrapolation graphique à partir de la Fig. 1 de la Recommandation UIT-R P.617.

$C(q)$ est le facteur de conversion pour d'autres pourcentages de temps. La Recommandation UIT-R P.617 donne certaines valeurs représentées dans le Tableau 6.

TABLEAU 6

q	50	90	99	99,9	99,99
$C(q)$	0	1	1,82	2,41	2,90

Les valeurs supérieures à 50%, qui ne figurent pas dans le tableau, peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

Pour des valeurs inférieures à 50%, l'affaiblissement est obtenu en supposant une symétrie autour de la ligne des 50%. Cette méthode est préconisée par la Recommandation UIT-R P.617 pour des pourcentages jusqu'à 20% dans tous les cas et jusqu'à 1% dans certains cas. En l'absence d'un modèle plus représentatif, le logiciel considère, par hypothèse, que cette méthode est valable pour toutes valeurs de p .

5.5.2 Méthode 2 – Distribution de l'affaiblissement d'émission médian du mois le plus défavorable moyen pour des pourcentages de temps supérieurs à 50%

Il est préférable de déterminer cette distribution à partir de la distribution annuelle moyenne par le biais d'un facteur de conversion.

Si on utilise la Méthode 1, on peut obtenir la distribution annuelle moyenne pour les pourcentages de non-dépassement (50; 90; 99; 99,9) et pour le(s) climat(s) concerné(s). L'affaiblissement d'émission de base est obtenu en calculant la différence entre la distribution annuelle moyenne et la distribution du mois le plus défavorable moyen, à partir des courbes de la Fig. 2 de la Recommandation UIT-R P.617. On notera que pour le climat 2, il est recommandé d'utiliser les courbes du climat 3 car aucune courbe n'est disponible pour ce climat.

En ajoutant cette différence d'affaiblissement d'émission de base aux valeurs annuelles moyennes correspondantes, on peut obtenir les affaiblissements d'émission du mois le plus défavorable moyen pour les pourcentages de non-dépassement (50; 90; 99; 99,9). Les affaiblissements d'émission du mois le plus défavorable moyen qui ne sont pas dépassés pendant 99,99% du temps peuvent être estimés sur la base des valeurs obtenues par extrapolation logarithmique.

5.5.3 Méthode 3 – Affaiblissement par phénomène de conduit

La prédiction de l'affaiblissement d'émission de base $L_{ba}(p)$ (dB) qui a lieu pendant des périodes de propagation anormale (phénomène de conduit et réflexion sur des couches) est fondée sur la fonction suivante:

$$L_{ba}(p) = A_f + A_d(p) + A_g \quad \text{dB} \quad (2)$$

où:

A_f : valeur totale des affaiblissements fixes par couplage (à l'exception des pertes dues aux groupes d'obstacles locaux) entre les antennes et la structure de la propagation anormale dans l'atmosphère:

$$A_f = 102,45 + 20 \log f + 20 \log (d_{lt} + d_{lr}) + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB} \quad (3)$$

A_{st}, A_{sr} : affaiblissements par diffraction dus à l'effet d'écran du site, respectivement pour la station brouilleuse et pour la station brouillée:

$$A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log \left[1 + 0,361 \theta''_{t,r} (f \cdot d_{t,lr})^{1/2} \right] + 0,264 \theta''_{t,r} f^{1/3} & \text{dB} \quad \text{pour } \theta''_{t,r} > 0 \text{ mrad} \\ 0 & \text{dB} \quad \text{pour } \theta''_{t,r} \leq 0 \text{ mrad} \end{cases} \quad (4)$$

avec:

$$\theta''_{t,r} = \theta_{t,r} - 0,1 d_{t,lr} \quad \text{mrad} \quad (4a)$$

A_{ct}, A_{cr} : corrections pour tenir compte du couplage des conduits en surface au-dessus des étendues d'eau, respectivement pour la station brouilleuse et pour la station brouillée:

$$A_{ct, cr} = -3 e^{-0,25 d_{ct, cr}^2} \left[1 + \text{tgh} \left(0,07(50 - h_{ts, rs}) \right) \right] \quad \text{dB} \quad \text{pour } \omega \geq 0,75$$

$$d_{ct, cr} \leq d_{t, lr} \quad (5)$$

$$d_{ct, cr} \leq 5 \text{ km}$$

$$A_{ct, cr} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{dans tous les autres cas} \quad (5a)$$

Il convient de noter le domaine limité de conditions pour lequel l'équation (5) est nécessaire.

$A_d(p)$: affaiblissements en fonction du pourcentage de temps et de la distance angulaire, à l'intérieur du phénomène de propagation anormale:

$$A_d(p) = \gamma_d \cdot \theta' + A(p) \quad \text{dB} \quad (6)$$

où:

γ_d : atténuation linéique:

$$\gamma_d = 5 \times 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad} \quad (7)$$

θ' : distance angulaire (corrigée, le cas échéant à l'aide de l'équation (8) pour permettre l'application du modèle d'effet d'écran du site de l'équation (4)):

$$\theta' = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_t + \theta'_r \quad \text{mrad} \quad (8)$$

$$\theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{mrad} & \text{pour } \theta_{t,r} \leq 0,1 d_{t,lr} \\ 0,1 d_{t,lr} & \text{mrad} & \text{pour } \theta_{t,r} > 0,1 d_{t,lr} \end{cases} \quad (8a)$$

$A(p)$: variabilité en pourcentage de temps (distribution cumulative):

$$A(p) = A_0(p) + 12 (p / \beta)^\Gamma \quad \text{dB} \quad (9)$$

avec:

$$A_0(p) = -12 + (1,2 + 4 \times 10^{-3} d) \log (p / \beta) \quad \text{dB} \quad (9a)$$

$$\Gamma = 0,17 \exp \left[0,027 \beta + 0,15 (\log \beta + 4)^{1,4} \right] \quad (9b)$$

On notera que si, dans l'équation (9b), le terme $(\log \beta + 4)$ est négatif, il convient de lui attribuer la valeur zéro.

$$\beta = \beta_0 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad \% \quad (10)$$

où:

μ_2 : correction pour tenir compte de la géométrie du trajet:

$$\mu_2 = \left[\frac{500}{a_e} \frac{d^2}{(\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}})^2} \right]^\alpha \quad (11)$$

La valeur de μ_2 ne doit jamais être supérieure à 1.

$$\alpha = -0,6 - d \times 10^{-3} (1 - e^{-s}) \quad (11a)$$

$$s = 6,7 \times 10^{-3} \left[d(1 - \omega) \right]^{1,6} \quad (11b)$$

μ_3 : correction pour tenir compte de l'irrégularité du terrain:

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{pour } h_m \leq 10 \text{ m} \\ \exp \left[-4,6 \times 10^{-5} (h_m - 10) (43 + 6 d_i) \right] & \text{pour } h_m > 10 \text{ m} \end{cases} \quad (12)$$

$$d_i = \min (d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad \text{km} \quad (12a)$$

A_g : absorption totale par les gaz, déterminée à partir de:

$$A_g = [\gamma_o + \gamma_w(\rho)] d \quad \text{dB}$$

où:

$\gamma_o, \gamma_w(\rho)$: affaiblissements linéiques dus respectivement à l'air sec et à la vapeur d'eau, donnés dans les équations de la Recommandation UIT-R P.676

ρ : concentration en vapeur d'eau:

$$\rho = 7,5 + 2,5 \omega \quad \text{g/m}^3$$

où ω est la fraction du trajet total au-dessus d'étendues d'eau.

5.5.4 Méthode 4 – Affaiblissement dû à la diffusion troposphérique

L'affaiblissement d'émission de base, dû à la diffusion troposphérique, non dépassé pour tout pourcentage p inférieur à 50% est donné par:

$$L_{bs}(p) = 190 + L_f + L_c + 20 \log d + 0,573 \theta - 0,15 N_0 + A_g - 10,1 [-\log(p/50)]^{0,7} \quad \text{dB}$$

où:

L_f : affaiblissement en fonction de la fréquence, calculé par l'expression:

$$L_f = 25 \log f - 2,5 [\log(f/2)]^2 \quad \text{dB}$$

L_c : affaiblissement dû au couplage entre ouverture et milieu ambiant calculé par l'expression:

$$L_c = 0,051 \cdot e^{0,055(G_t + G_r)} \quad \text{dB}$$

N_0 : coïncide en surface au niveau de la mer, au point milieu du trajet (extrait de la Fig. 7) de la Recommandation UIT-R P.452.

A_g : absorption par les gaz, calculée à partir de l'équation:

$$A_g = [\gamma_o + \gamma_w(\rho)] d \quad \text{dB}$$

où:

$\gamma_o, \gamma_w(\rho)$: affaiblissements linéiques dus respectivement à l'air sec et à la vapeur d'eau, donnés dans la Recommandation UIT-R P.676

ρ : concentration en vapeur d'eau

où $\rho = 3 \text{g/m}^3$ pour toute la longueur du trajet.