



Manuel

*MÉTHODES DE PRÉVISION DE LA
PROPAGATION DE L'UIT-R POUR
LES ÉVALUATIONS DES BROUILLAGES
ET LES ÉTUDES DE PARTAGE*

Edition 2012
Bureau des radiocommunications



SECTEUR DES RADIOCOMMUNICATIONS DE L'UIT

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radio-communication, 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.

Pour tout renseignement sur les questions de radiocommunication

Veuillez contacter:

UIT
Bureau des radiocommunications
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse

Téléphone:	+41 22 730 5800
Téléfax:	+41 22 730 5785
E-mail:	brmail@itu.int
Web:	www.itu.int/itu-r

Pour commander les publications de l'UIT

Veuillez noter que nous n'acceptons pas les commandes par téléphone. Prière de les envoyer par écrit.

UIT
Division des ventes et du marketing
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse

Téléfax:	+41 22 730 5194
E-mail:	sales@itu.int

La Librairie électronique de l'UIT: www.itu.int/publications

MANUEL

Méthodes de prévision de la propagation de l'UIT-R pour les évaluations des brouillages et les études de partage

Edition 2012

Bureau des radiocommunications



PRÉFACE

Le présent Manuel vise à fournir des informations techniques et des indications nécessaires aux études de partage et aux évaluations des brouillages à l'aide d'une sélection de modèles et de méthodes de prévision relatifs à la propagation en radiofréquences, issus des Recommandations UIT-R de la Série P. Il a été élaboré dans le cadre de la Commission d'études 3, sous la direction du Groupe de travail 3M, présidé par Madame Carol Wilson (Australie).

Les coauteurs du présent document sont:

Clare ALLEN

David BACON

Les BARCLAY

Chris BEHM

Ralph CAGER

Alex EPSHTEYN

Glenn FELDHAK

Rainer GROSSKOPF

Fryderyk LEWICKI

Paul MCKENNA

Alakananda PAUL

Patti RAUSH

Laura ROBERTI

Teresa RUSYN

Carol WILSON

TABLE DES MATIÈRES

Page

PRÉFACE	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
CHAPITRE 1 – INTRODUCTION	1
1.1 Généralités	1
1.2 Objectif	1
1.3 Structure	2
CHAPITRE 2 – Informations de base concernant les brouillages	3
2.1 Introduction aux brouillages radioélectriques	3
2.2 Paramètres radioélectriques	5
2.3 Variabilité de la propagation	5
2.4 Distances et zones de coordination	6
2.5 Mécanismes de propagation	6
CHAPITRE 3 – Bref guide des effets de propagation pris en compte dans les Recommandations UIT-R de la Série P et des méthodes de prévision de la propagation qui y sont décrites	9
3.1 Introduction	9
3.2 Terminologie de la propagation	10
3.3 Guide des méthodes de prévision de la propagation des ondes radioélectriques des Recommandations UIT-R de la Série P utiles pour l'analyse des brouillages	10
3.4 Phénomènes spécifiques de propagation des ondes radioélectriques dans les Recommandations UIT-R de la Série P	16
3.4.1 Effets de propagation spécifiques dans les Recommandations UIT-R de la Série P	16
3.5 Contraintes sur les trajets de propagation des ondes radioélectriques dans les Recommandations UIT-R de la Série P	20
CHAPITRE 4 – Phénomènes de propagation des ondes radioélectriques	25
4.1 Introduction	25
4.2 Nature statistique de la propagation radioélectrique	25
4.3 Critères de protection contre les brouillages	30
CHAPITRE 5 – Application des modèles de propagation et des méthodes de prévision de la propagation des Recommandations UIT-R de la Série P aux études de partage et aux évaluations des brouillages	33
5.1 Introduction	33
5.2 Recommandation UIT-R P.452	33
5.3 Recommandation UIT-R P.528	35
5.4 Recommandation UIT-R P.533	36
5.5 Recommandation UIT-R P.619	37
5.6 Recommandation UIT-R P.620	39
5.7 Recommandation UIT-R P.1546	41
5.8 Recommandation UIT-R P.1812	42

CHAPITRE 6 – Scénarios de partage représentatifs pour les méthodes et les modèles des Recommandations UIT-R de la Série P	44
6.1 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.452	44
6.2 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.528	45
6.3 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.533	46
6.4 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.620	47
6.5 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.1546	48
6.6 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.1812	48
APPENDICE A – Exemples de calcul	50
ANNEXE A1 de l'Appendice A – Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.452	50
ANNEXE A2 de l'Appendice A – Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.528	55
ANNEXE A3 de l'Appendice A – Exemples de calculs pour la Recommandation UIT-R P.533	56
ANNEXE A4 de l'Appendice A – Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.620	59
ANNEXE A5 de l'Appendice A – Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.1546	61
ANNEXE A6 de l'Appendice A – Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.1812	64
APPENDICE B – Références.....	66

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Généralités

Au sein de l'UIT-R, la Commission d'études 3 est chargée de mener des études sur la propagation des ondes radioélectriques dans les milieux ionisés et les milieux non ionisés et sur les caractéristiques du bruit radioélectrique, dans le but d'améliorer les systèmes de radiocommunication. La Commission d'études 3 se compose de quatre groupes de travail, dont chacun s'intéresse à des aspects particuliers de la propagation des ondes radioélectriques et comptait, au mois d'août 2011, 86 Recommandations techniques et 8 Rapports techniques en vigueur, relevant de la Série P de l'UIT-R. Certains de ces documents fournissent des données de mesure détaillées, d'autres des modèles relatifs à des phénomènes de propagation spécifiques, d'autres encore des méthodes de prévision de la propagation – c'est-à-dire des étapes et des procédures à suivre pour combiner des modèles afin d'évaluer l'affaiblissement de propagation global le long d'un trajet de transmission.

Il est nécessaire de disposer d'informations précises concernant la propagation pour assurer la conception, la mise en oeuvre et l'exploitation de la plupart des systèmes de radiocommunication modernes. En outre, la précision des informations concernant la propagation revêt une grande importance et constitue un sujet d'intérêt majeur pour les Commissions d'études de l'UIT-R qui étudient l'incidence d'un système de radiocommunication donné sur le fonctionnement d'autres systèmes de radiocommunication, ou les brouillages qu'il cause à ces autres systèmes. La Commission d'études 3 reçoit régulièrement des notes de liaison dans lesquelles sont formulées des demandes de précision au sujet des méthodes de prévision de la propagation, telles que:

- comment déterminer quelle méthode de prévision de la propagation figurant dans les Recommandations UIT-R de la Série P est la mieux appropriée ou la plus facilement applicable en vue d'une utilisation dans le cadre d'évaluations de brouillages ou d'études de partage; et
- comment utiliser les méthodes de prévision de la propagation figurant dans les Recommandations UIT-R de la Série P dans le cadre d'évaluations de brouillages ou d'études de partage.

Le présent Manuel fournit des indications générales sur ces questions, afin de faciliter les travaux d'autres Commissions d'études et groupes de travail.

1.2 Objectif

Le présent Manuel est destiné à être utilisé en association avec les Recommandations UIT-R de la Série P, afin de faciliter la réalisation d'analyses de brouillages et à la mise en oeuvre de méthodes de prévision concernant les systèmes des services de radiocommunication. La terminologie et les notations utilisées dans le présent Manuel sont les mêmes que dans les Recommandations UIT-R de la Série P, et l'on y décrit les caractéristiques essentielles de méthodes de prévision de la propagation choisies dans la Série P de l'UIT-R. Y figurent également des exemples détaillés illustrant l'application de ces méthodes à des scénarios spécifiques d'analyse des brouillages.

1.3 Structure

Après les éléments d'introduction du Chapitre 1, le Chapitre 2 du présent Manuel contient des indications sur le contexte, des informations supplémentaires, ainsi qu'une brève description des brouillages radioélectriques et des mécanismes de propagation pris en compte dans les Recommandations UIT-R de la Série P retenues pour le présent Manuel. Le Chapitre 3 présente un guide sur la terminologie de la propagation et contient des indications pour choisir l'une des Recommandations UIT-R de la Série P en vue de mener une analyse de brouillages. Le Chapitre 4 du Manuel contient un examen des méthodes et des mécanismes sur lesquels repose l'analyse des brouillages. Le Chapitre 5 est consacré à l'étude de paramètres spécifiques, notamment les données d'entrée, les mécanismes de propagation en jeu, et les données de sortie obtenues, pour chacune des méthodes faisant l'objet d'une des Recommandations choisies. Le Chapitre 6 expose des exemples de scénario de partage, et les Annexes qui accompagnent le Manuel donnent des exemples de calculs permettant d'obtenir une analyse des brouillages pour ces exemples de scénario de partage.

CHAPITRE 2

INFORMATIONS DE BASE CONCERNANT LES BROUILLAGES

2.1 Introduction aux brouillages radioélectriques

Des brouillages sont créés lorsque des signaux radioélectriques non désirés, dits signaux brouilleurs, entrent dans une antenne de réception avec un niveau de puissance suffisant pour détériorer la qualité de réception du signal utile. La puissance de chaque signal brouilleur dépend de l'intensité de l'onde radioélectrique brouilleuse au niveau de l'antenne et du gain de l'antenne dans la direction d'arrivée.

Trois types de niveau de puissance sont à prendre en compte à l'entrée d'une antenne de réception: le signal utile, la somme de tous les signaux brouilleurs et le bruit radioélectrique. Pour atteindre un niveau de qualité de fonctionnement donné, généralement précisé dans les systèmes numériques par un taux d'erreur sur les bits, il est nécessaire que le rapport de la puissance du signal utile à la somme de la puissance de bruit et de la puissance de brouillage totale à l'entrée du démodulateur dépasse une valeur minimale. En pratique, ce rapport est généralement calculé en un point de référence accessible du système de réception, compte tenu du facteur de bruit et des gains. Par convention, ce rapport se note $C/(N + \Sigma I)$, où C représente la puissance du signal utile, N la puissance du bruit, et ΣI la somme des puissances brouilleuses.

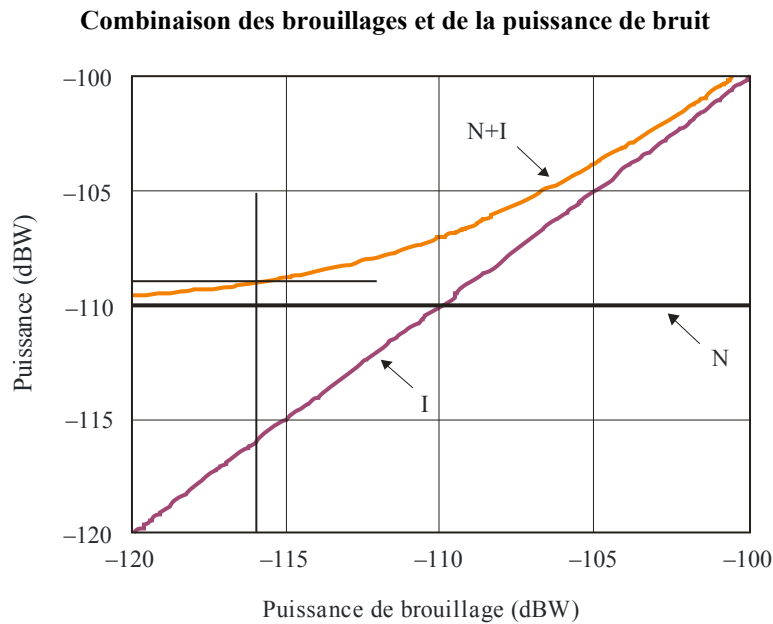
Le rapport de puissance $C/(N + \Sigma I)$ s'exprime normalement en décibels (dB), et sa valeur est alors égale à $10\log_{10}(\text{rapport de puissance})$. Tout emploi des décibels doit pouvoir s'interpréter comme le rapport de deux puissances. Par exemple, lorsqu'un niveau de puissance est exprimé en décibels par rapport à 1 W, unité qui se note dBW, le calcul est en fait $10\log_{10}(W/1)$, où W est la puissance effective en watts et où le 1 représente la référence de 1 W.

Les termes figurant dans le rapport ci-dessus, C , N et ΣI , sont des puissances qui s'expriment normalement en décibels, par exemple en dBW. Cela entraîne une anomalie si l'on traite $C/(N + \Sigma I)$ comme une expression mathématique, puisque dans ce cas les trois termes concernés devraient être exprimés dans des unités de puissance linéaires. Par convention, $C/(N + \Sigma I)$ et les expressions similaires sont traités comme s'il s'agissait de quantités uniques.

Il est commode d'utiliser une échelle de rapports de puissance logarithmique, parce que ce sont les intensités relatives des différents signaux qui sont importantes pour le calcul des brouillages, et que la plupart des facteurs qui influent sur la puissance des signaux sont multiplicatifs. Cet usage facilite l'opération courante consistant à calculer le bilan de liaison d'un système radioélectrique, qui s'effectue en prenant la somme des quantités concernées exprimées en dB. Le même principe peut être appliqué à l'évaluation des brouillages.

La Fig. 2.1 représente le calcul de $(N + I)$ effectué en prenant la somme de N et d'un signal brouilleur unique I . Les deux axes indiquent des niveaux de puissance en dBW, avec des valeurs caractéristiques des conditions dans un récepteur. L'axe horizontal indique la puissance d'un signal brouilleur unique, I , qui est supposé varier, comme le montre la ligne diagonale (rose). La puissance de bruit est supposée être constante, comme le montre la ligne horizontale (noire).

FIGURE 2.1



La combinaison de plusieurs signaux brouilleurs s'effectue normalement en prenant la somme des puissances, c'est-à-dire en additionnant des puissances linéaires exprimées, par exemple, en watts. Lorsque les données d'entrée sont exprimées en décibels, il faut convertir les puissances en unités linéaires, en prendre la somme, puis convertir à nouveau le résultat obtenu en décibels. Par conséquent, la combinaison de N et I représentée dans la Fig. 2.1 est donnée par :

$$e(N + I) = 10 \log(10^{0,1N} + 10^{0,1I}) \text{ dBW} \quad (2.1)$$

La puissance du signal utile, C , n'apparaît pas dans la Fig. 2.1. Pour assurer un certain niveau de qualité, il faut que le rapport de cette puissance à $(N + I)$ reste au-dessus d'une valeur minimale.

En raison de l'utilisation d'échelles en décibels, la ligne (rouge) représentant $(N + I)$ est courbe. Sur la gauche du diagramme, où N est supérieur à I de 10 dB, $(N + I)$ n'est que 0,4 dB environ au-dessus de N , et tend asymptotiquement vers N pour les valeurs plus faibles de I . A la droite du diagramme, la situation est similaire, avec $(N + I)$ qui tend asymptotiquement vers I . Au centre du diagramme, où $N = I$, la combinaison du bruit et du brouillage est 3 dB au-dessus de N ou I .

Les systèmes radioélectriques peuvent être conçus pour être limités par le bruit ou les brouillages. Sur la Fig. 2.1, au point d'intersection des fines lignes (noires) à $I = -116$ dBW, le brouillage I se situe 6 dB en dessous du bruit, N , ce qui donne $(N + I)$ à environ 1 dB au-dessus de N . Cette situation représente un critère de limitation par le bruit, puisque la majeure partie de $(N + I)$ correspond à du bruit. Dans cet exemple, on dirait que la marge de brouillage est de 1 dB, ou que le rapport bruit/brouillage (N/I) est de -6 dB.

Dans les systèmes fonctionnant au-delà des ondes métriques, le bruit total N est composé en majeure partie du bruit de circuit, par opposition aux sources de bruit extérieures, telles que le bruit céleste et le bruit artificiel. Ces exemples de source de bruit seront décrits de manière plus détaillée dans les chapitres suivants. Par conséquent, dans les ondes décimétriques et au-delà, le bruit total est relativement stable, et les systèmes limités par le bruit relativement faciles à concevoir.

Du point de vue de l'utilisation du spectre, il est plus efficace de faire fonctionner les systèmes radioélectriques dans des conditions de limitation par les brouillages, situation qui correspond à la partie droite de la Fig. 2.1. Cependant, les niveaux de brouillage varient en général davantage que les niveaux de bruit, ce qui peut rendre d'autant plus difficile la conception de systèmes limités par les brouillages.

Les Recommandations de la Commission d'études 3 visent à fournir des méthodes de prévision des niveaux des signaux, y compris les statistiques relatives à la manière dont ils varient, ce qui est d'une grande importance pour les études de partage. Les sous-sections suivantes sont consacrées à la description des paramètres utilisés pour la puissance des signaux radioélectriques et les mécanismes de propagation à l'origine des variations du niveau des signaux.

2.2 Paramètres radioélectriques

Deux paramètres sont couramment utilisés pour indiquer l'intensité absolue d'une onde radioélectrique qui se propage: le champ électrique et la puissance surfacique. Au fond, ces deux paramètres sont équivalents, puisqu'ils sont liés par la simple expression:

$$E = S + 145,8 \quad (2.2)$$

où E désigne le champ électrique en dB par rapport à $1 \mu\text{V/m}$, noté $\text{dB}(\mu\text{V/m})$, et S la puissance surfacique en dB par rapport à 1 watt par mètre carré, noté $\text{dB}(\text{W/m}^2)$.

L'intensité absolue d'une onde radioélectrique dépend de la puissance rayonnée par l'antenne d'émission, du gain de cette antenne dans le sens de la propagation et des affaiblissements de propagation. La combinaison de la puissance rayonnée et du gain de l'antenne dans le sens de la propagation peut être exprimée au moyen d'un seul paramètre, la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.), P , donnée par:

$$P = P_t + G_i \text{ dBW} \quad (2.3)$$

où P_t désigne la puissance totale rayonnée par l'antenne, en dBW, et G_i le gain de l'antenne dans le sens concerné, en dB par rapport à une antenne isotrope, noté dBi.

Les niveaux des signaux peuvent aussi se calculer de manière indirecte à partir de l'affaiblissement de propagation dû au trajet radioélectrique. La définition de l'affaiblissement de transmission de référence, ainsi que les définitions de plusieurs autres types d'affaiblissement, figurent dans la Recommandation UIT-R P.341. En termes simples, l'affaiblissement de transmission de référence, L_b , est l'affaiblissement en dB entre des antennes isotropes. L'affaiblissement de transmission de référence est utilisé dans un bilan de liaison afin de calculer l'intensité du signal correspondant dans un récepteur.

2.3 Variabilité de la propagation

L'intensité d'un signal radioélectrique tend généralement à varier, même dans le cas d'une propagation entre des antennes fixes. L'intensité atteinte ou dépassée pendant la moitié du temps constitue le niveau médian du signal. Différents mécanismes peuvent entraîner un évanouissement (intensité inférieure au niveau médian) ou un renforcement (intensité supérieure au niveau médian) du signal. Les statistiques relatives à la variabilité sont normalement exprimées en termes de pourcentages d'une année moyenne, ou du «mois le plus défavorable», concept décrit dans la Recommandation UIT-R P.581.

Il est à noter que diverses Recommandations utilisent le symbole $p\%$ pour désigner soit le pourcentage de temps pendant lequel un évanouissement ou un affaiblissement donné est dépassé, soit le pourcentage de temps pendant lequel un renforcement donné est dépassé ou un affaiblissement donné n'est pas dépassé. Le contexte dans lequel il est fait mention de $p\%$ du temps doit être pris en compte, de même que la période sur laquelle portent les calculs (année moyenne ou mois le plus défavorable).

Des concepts fondamentaux concernant la variabilité des signaux brouilleurs sont décrits dans le § 1.3 de la Recommandation UIT-R SM.1448. De manière générale, des critères de brouillage sont appliqués pour des conditions «à long terme» et des conditions «à court terme», correspondant respectivement au dépassement d'un certain niveau de puissance brouilleuse pendant 20% du temps, ou pour une durée comprise entre 0,001% et 1,0% du temps.

2.4 Distances et zones de coordination

Le principe de la distance de coordination est que la probabilité de brouillage préjudiciable causé par une station située à une grande distance peut être considérée comme négligeable.

Le calcul de la distance de coordination demande une attention particulière. En général, la longueur du trajet est une donnée d'entrée de toute Recommandation de la Série P utilisée afin de calculer le champ ou l'affaiblissement de propagation. On peut calculer une distance de coordination en définissant l'affaiblissement minimal admissible (ou éventuellement le champ maximal admissible) pour le signal brouilleur, puis itérer le modèle de propagation pour différentes distances jusqu'à ce que la condition requise soit satisfaite avec un niveau de précision satisfaisant. L'utilisation de cette méthode nécessite que le résultat obtenu à l'aide du modèle de propagation varie de façon monotone en fonction de la longueur du trajet. Par conséquent, il convient de faire des hypothèses sur le trajet plutôt que de procéder à une analyse détaillée du profil du trajet. En formant ces hypothèses, on devrait avoir tendance à surestimer l'intensité du signal brouilleur, afin d'augmenter la probabilité que la distance de coordination soit sûre.

Les zones de coordination sont des zones situées à l'intérieur des distances de coordination, et la Recommandation UIT-R SM.1448, notamment, présente une méthode de détermination des zones de coordination pour la coordination internationale des stations terriennes. Les informations relatives à la propagation figurant dans la Recommandation UIT-R SM.1448 sont tirées de la Recommandation UIT-R P.620.

Les Recommandations UIT-R SM.1448 et UIT-R P.620 font référence aux modes de propagation (1) et (2) sans les décrire, bien qu'il soit possible d'identifier les différences entre les deux à partir du texte. Ces deux modes sont décrits dans le § 5.24 du Dictionnaire des données de radiocommunication, qui fait l'objet de la Recommandation UIT-R SM.1413-2. Le mode (1) concerne des mécanismes de propagation qui peuvent être pris en compte par une analyse du profil du grand cercle entre les antennes d'émission et de réception, tandis que le mode (2) concerne des mécanismes qui nécessitent l'étude de conditions en dehors du grand cercle. Le mode (2) concerne essentiellement la diffusion par les hydrométéores, qui peut entraîner un couplage entre les faisceaux d'antenne, y compris les lobes latéraux dans certaines conditions, et peut avoir pour conséquence une augmentation du niveau des signaux brouilleurs. Le mode (1) englobe tous les autres mécanismes.

2.5 Mécanismes de propagation

Les Recommandations tenues à jour par la Commission d'études 3, qui constituent la Série P, fournissent des méthodes pour prévoir l'intensité des signaux reçus, qu'il s'agisse de signaux utiles ou brouilleurs, ainsi que les statistiques relatives à la variabilité de leur niveau. Dans la plupart des méthodes, l'affaiblissement de transmission de référence est exprimé en fonction de différents mécanismes de propagation. Les différences entre les différentes définitions de l'affaiblissement de transmission de référence font l'objet de la Recommandation UIT-R P.341.

La présente sous-section vise à résumer les caractéristiques des mécanismes de propagation considérés dans les Recommandations UIT-R de la Série P.

- a) **Affaiblissement en espace libre.** Parfois appelé «affaiblissement géométrique», l'affaiblissement en espace libre est dû à la dilution de la puissance surfacique dans un front d'onde à mesure que celui-ci s'étend. Le terme d'«affaiblissement en espace libre» devrait s'employer uniquement dans les cas où l'onde radioélectrique se propage dans un milieu homogène tridimensionnel. Ces conditions correspondent approximativement aux conditions de propagation dans la troposphère. L'affaiblissement géométrique est pris en compte, lorsqu'il y a lieu, dans les Recommandations de la Série P.
- b) **Affaiblissement dû aux gaz.** Aux fréquences élevées, l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques peut être important, aussi bien sur les trajets de Terre que sur les trajets Terre vers espace. Dans des conditions moyennes au niveau de la mer, l'affaiblissement linéique est supérieur à 0,01 dB/km au voisinage de 6 GHz, et à 0,1 dB/km au voisinage de 20 GHz. Des méthodes de calcul détaillées de l'affaiblissement dû aux gaz figurent dans la Recommandation UIT-R P.676. L'affaiblissement atmosphérique est causé par l'oxygène et la vapeur d'eau. La teneur de l'atmosphère en oxygène est stable, mais sa teneur en vapeur d'eau est variable. La variabilité de la teneur en vapeur d'eau revêt

une grande importance aux fréquences où l'affaiblissement dû à ce gaz est le plus élevé, au voisinage de 22 GHz et au-dessus de 70 GHz. Des statistiques relatives à la teneur en vapeur d'eau figurent dans la Recommandation UIT-R P.836.

- c) **Diffraction.** Dans le cas de la diffraction, l'affaiblissement est dû à des obstacles à la propagation de l'onde radioélectrique. La diffraction s'utilise en particulier pour tenir compte des obstacles de terrain dus à la présence de reliefs, en prenant également en considération la courbure de la Terre. La diffraction due à la présence d'obstacles sur le terrain concerne principalement les trajets terrestres, mais peut être importante sur les trajets Terre vers espace à des angles d'élévation faibles. L'affaiblissement par diffraction à une fréquence donnée est constant pour une géométrie d'obstacle stable. Cependant, les variations de la réfractivité atmosphérique en fonction de l'altitude peuvent être équivalentes à des modifications du rayon équivalent de la Terre et, par conséquent, avoir une incidence sur la valeur des affaiblissements par diffraction. Les modifications de ce type, qui ont lieu dans des conditions atmosphériques variables mais normales, peuvent entraîner des variations de l'affaiblissement par diffraction dû au terrain donnant lieu à des valeurs atteintes ou dépassées pendant un pourcentage de temps compris entre 10% et 90% environ, et qui peuvent correspondre à des renforcements comme à des évanouissements du signal. Ce mécanisme n'entre pas en jeu dans le cas de variations plus importantes, donnant lieu à des valeurs atteintes ou dépassées pendant moins de 10% du temps environ.
- d) **Structures de réfraction atmosphérique.** Certaines structures de réfraction atmosphérique peuvent entraîner des phénomènes de convergence ou de divergence, parfois appelés focalisation et défocalisation. Ces effets peuvent provoquer des renforcements ou des évanouissements lents ou rapides aussi bien sur les trajets de Terre que sur les trajets Terre vers espace, en particulier sur les trajets troposphériques. Dans le cas de modifications rapides, on parle de scintillation. Une réfraction irrégulière sur l'étendue de l'ouverture d'une antenne peut également entraîner une baisse du gain équivalent due à une incohérence de phase, effet connu sous le nom de couplage entre l'antenne et le milieu.
- e) **Propagation par conduits et réflexion sur les couches.** Des déformations de la structure normale de l'atmosphère, sous la forme de couches, peuvent avoir une incidence plus importante sur l'intensité des signaux. En particulier, une onde piégée à l'intérieur d'un conduit atmosphérique peut se propager en subissant un affaiblissement plus faible que l'affaiblissement en espace libre, ce qui peut donner lieu à des renforcements importants lorsque, de plus, la propagation à l'intérieur d'un conduit évite l'affaiblissement par diffraction dû au terrain. Selon les hauteurs relatives des antennes et des couches ou conduits, ce type de structure atmosphérique peut également entraîner des évanouissements profonds et, lorsque cela se produit, l'affaiblissement est uniforme, c'est-à-dire qu'il n'est pas sélectif en fréquence.

La propagation par conduits ou la réflexion sur les couches au-dessus de la Terre ne coïncident pas, normalement, avec des conditions de précipitations ou de vent. Globalement, l'incidence de ces mécanismes varie de 3% à 50%, et ils ont peu d'influence sur les trajets courts, de l'ordre de quelques kilomètres, mais peuvent avoir des effets majeurs au-delà de 10 km environ, et causer notamment d'importants renforcements des signaux brouilleurs. Par conséquent, ces mécanismes jouent un rôle important dans les études de partage sur des trajets dont la longueur excède l'ordre des 10 km.

Les conditions sont différentes au-dessus de la mer ou de vastes étendues d'eau. Un conduit existe au-dessus de l'eau la totalité du temps, ou au moins une grande partie, en raison de l'évaporation qui a lieu à sa surface. Des conditions venteuses ou de mer forte peuvent fractionner ces conduits suffisamment pour en limiter l'incidence sur la propagation mais, dans des conditions calmes, ils peuvent avoir un effet important. Par ailleurs, dans les ondes métriques (partie inférieure), la fréquence du signal peut se situer en deçà de la fréquence critique du guide d'ondes formé par la surface du conduit. Cependant, à des fréquences plus élevées, un conduit jouant le rôle de surface de propagation existe pendant plus de la moitié du temps et, dans certains endroits, la plupart du temps. Comme dans le cas d'un conduit situé au-dessus d'obstacles de terrain, l'effet dépend de la géométrie et des hauteurs relatives des antennes et du conduit, qui ont une influence sur le couplage du signal à l'intérieur et à l'extérieur du conduit.

La propagation par conduits et la réflexion sur les couches ont des incidences sur les trajets quasi horizontaux et, par conséquent, constituent un problème pour la propagation le long de trajets de Terre avant tout.

- f) **Diffusion troposphérique.** Un autre effet est dû à la non-homogénéité de l'atmosphère, qui entraîne la diffusion des ondes radioélectriques. En présence d'un signal de forte intensité, comme dans le cas d'un trajet en visibilité directe ou d'un trajet transhorizon sur lequel les affaiblissements par diffraction sont faibles, la diffusion troposphérique est normalement peu importante. Son effet le plus courant est d'empêcher la formation de zones d'ombre importantes par diffraction. Par conséquent, la diffusion troposphérique peut limiter la protection contre un signal brouilleur que l'affaiblissement par diffraction fournirait en son absence.
- g) **Effets ionosphériques.** Dans les ondes métriques (partie inférieure) interviennent différents mécanismes ionosphériques, y compris la réflexion sur la couche sporadique E, qui peut entraîner des renforcements du signal sur les trajets de Terre. Ces effets ont tendance à être peu fréquents sur de longues périodes de temps, mais présentent des variations régionales et saisonnières. En outre, les effets ionosphériques jouent un rôle important sur les trajets Terre vers espace au-dessous de 1 GHz environ. C'est le cas notamment de la rotation de la polarisation rectiligne, de la scintillation ionosphérique, ainsi que de la focalisation et de la défocalisation.
- h) **Précipitations.** La pluie et la neige mouillée peuvent provoquer des évanouissements du signal, aussi bien sur les trajets de Terre que sur les trajets Terre vers espace. Dans le cadre des études de partage, on s'intéresse principalement à l'évanouissement du signal utile. Cet évanouissement doit être pris en compte dans le calcul de la marge d'évanouissement, afin que les interruptions dues aux évanouissements ne dépassent pas le pourcentage de temps admissible. La dépolarisation due à la pluie est elle aussi importante dans les cas où la discrimination de polarisation entre dans la séparation des systèmes radioélectriques concernés.

Les précipitations peuvent également entraîner un couplage des faisceaux d'antenne dû à la diffusion et au mode de propagation (2), qui a une incidence particulièrement importante sur la coordination entre les stations terriennes et les liaisons en visibilité directe.
- i) **Propagation par trajets multiples.** Un même signal peut emprunter simultanément plusieurs trajets de propagation en raison de la non-homogénéité de l'atmosphère, de la réflexion au sol, et des réflexions dues à la présence d'objets tels que les bâtiments. La variabilité qui en découle au niveau de l'intensité du signal est sélective en fréquence. Elle peut être rapide dans le cas d'une non-homogénéité à petite échelle, et reçoit alors le nom de scintillation. Une variabilité plus lente le long de trajets multiples se produit en particulier dans le cas des trajets de Terre en visibilité directe présentant une faible inclinaison. Les trajets multiples dus à la réflexion au sol peuvent être relativement stables au cours du temps, bien que rarement constants, et les variations sont dues principalement à la hauteur des antennes. Les réflexions provenant des bâtiments peuvent entraîner la formation de rayons multiples. Dans les environnements urbains, les mouvements du trafic, etc., entraînent une variabilité dans le temps, et l'on observe également une variabilité dans l'espace. Toute variabilité de l'intensité du signal due à une propagation par trajets multiples se caractérise par de petits renforcements larges et de profonds évanouissements étroits, les termes «large» et «étroit» s'appliquant à la variabilité sur la totalité du temps, de l'espace et des fréquences.
- j) **Occultation.** Les terminaux situés dans des environnements comportant de nombreux obstacles, comme les zones urbaines ou boisées, seront confrontés à une variabilité de l'intensité du signal sur des distances avoisinant la largeur des obstacles en question.

En ce qui concerne les points i) et j) ci-dessus, compte tenu des données atmosphériques et topographiques généralement disponibles, il n'est pas possible, dans la pratique, de prévoir l'intensité du signal en un point de la distribution de la propagation par trajets multiples. L'objectif de la partie principale d'un modèle sera de prévoir le niveau médian de la distribution de la propagation par trajets multiples. Si nécessaire, une méthode sera utilisée afin de prévoir, sur une base statistique, les emplacements qui se trouvent sur la distribution de l'occultation, et les résultats seront utilisés afin de corriger le niveau médian de la distribution de la propagation par trajets multiples.

CHAPITRE 3

BREF GUIDE DES EFFETS DE PROPAGATION PRIS EN COMPTE DANS LES RECOMMANDATIONS UIT-R DE LA SÉRIE P ET DES MÉTHODES DE PRÉVISION DE LA PROPAGATION QUI Y SONT DÉCRITES

3.1 Introduction

Le choix de modèles de propagation et de méthodes de prévision de la propagation des ondes radioélectriques applicables dans le cadre d'une analyse technique dépend des différents effets de propagation à prendre en compte pour un trajet de propagation particulier. Les modèles et les méthodes de prévision des Recommandations UIT-R de la Série P couvrent un large éventail de ces effets. Le présent chapitre fournit un bref guide des modèles et des méthodes qui se prêtent particulièrement bien aux études de partage et aux analyses des brouillages.

La mesure fondamentale des perturbations subies par un signal radioélectrique au cours de sa propagation est sa puissance. Les mécanismes de propagation modélisés dans les Recommandations UIT-R de la Série P font intervenir des effets de propagation particuliers qui peuvent faire augmenter ou diminuer l'affaiblissement d'un signal radioélectrique et, par conséquent, les risques de brouillages radioélectriques causés par un système à un autre système. Les mécanismes de propagation qui peuvent entraîner une augmentation des brouillages incluent la réflexion et la réfraction, la propagation par trajets multiples, la propagation par conduits, les effets de l'ionosphère, les effets de la troposphère, et la diffusion par la pluie. Les mécanismes de propagation qui peuvent faire diminuer les brouillages entre les systèmes radioélectriques sont notamment la diffraction et divers effets d'atténuation.

Tandis qu'un modèle de propagation permet de calculer l'incidence d'un seul mécanisme de propagation le long d'un trajet radioélectrique, les méthodes de prévision des Recommandations UIT-R de la Série P tiennent compte de multiples mécanismes de propagation afin de permettre le calcul de l'affaiblissement d'un signal radioélectrique lorsqu'il traverse un environnement de propagation. Les méthodes de prévision de la propagation des Recommandations UIT-R de la Série P dont il est question dans le présent Manuel fournissent des informations générales concernant les dégradations dues aux mécanismes de propagation pris en compte le long du trajet, des objectifs de qualité de fonctionnement des systèmes, des informations détaillées concernant la configuration des systèmes, ainsi que des informations supplémentaires que l'on considère utiles à l'application du modèle pour effectuer des prévisions relatives aux trajets et analyser les brouillages. Dans la mesure du possible, les méthodes de prévision font l'objet d'une évaluation basée sur la comparaison avec des données de mesure provenant des banques de données de la Commission d'études 3, et les résultats sont utilisés pour indiquer la précision des méthodes de prévision et la variabilité des données mesurées.

Les Recommandations de la Série P contiennent une combinaison de modèles et de méthodes destinés à deux types d'analyse complémentaires. Les modèles et les méthodes destinés à la conception de liaisons ou de trajets servent à planifier des systèmes utilisés pour fournir des services de radiocommunication et à évaluer l'affaiblissement de propagation du signal entre l'émetteur et le(s) récepteur(s) associé(s). Les modèles et les méthodes de prévision des brouillages sur une liaison ou un trajet servent à évaluer les brouillages radioélectriques entre deux systèmes ou services, voire davantage.

En règle générale, les modèles de propagation sont utilisés afin de définir un scénario le plus défavorable correspondant à un mécanisme de propagation particulier. Les modèles destinés à la conception de systèmes concernent essentiellement les scénarios d'affaiblissement élevé. L'analyse des brouillages varie en fonction des changements de conditions, y compris des mécanismes de propagation multiples. Les changements de conditions dans l'analyse des brouillages se traduisent par des descriptions statistiques dans les modèles de prévision des brouillages. Par conséquent, les modèles destinés à l'analyse des brouillages concernent essentiellement les scénarios d'affaiblissement faible.

3.2 Terminologie de la propagation

L'UIT a créé le Comité de coordination pour le vocabulaire (CCV), groupe chargé de répondre aux besoins importants de l'UIT en matière de vocabulaire. Le CCV tient à jour et actualise une base de données en ligne des termes et définitions, disponible à l'adresse suivante:

www.uit.int/UIT-R/go/terminology-database

Il s'agit de la méthode privilégiée pour trouver la définition de tout terme apparaissant dans les Recommandations de l'UIT.

Certaines Recommandations de la Série V sont toujours en vigueur. Le Tableau 3.2-1 énumère les Recommandations les plus pertinentes dans l'optique du présent Manuel. Ces Recommandations, bien qu'elles soient désignées comme des Recommandations UIT-R, relèvent à ce jour du CVV.

TABLEAU 3.2-1

Terminologie de la propagation fournie dans les Recommandations de la Série V

Recommandation UIT-R	Sujet	Titre	Objet
V.573	Radiocommunication	Vocabulaire des radiocommunications	Termes généraux se rapportant à la propagation des ondes radioélectriques.
V.662	Propagation générale	Termes et définitions	Termes généraux se rapportant à la propagation des ondes radioélectriques.

TABLEAU 3.2-2

Terminologie de la propagation fournie dans les Recommandations de la Série P

Recommandation UIT-R	Sujet	Titre	Objet
P.310	Propagation générale	Définition des termes relatifs à la propagation dans les milieux non ionisés	Termes généraux se rapportant aux ondes radioélectriques, aux effets du sol sur la propagation des ondes radioélectriques, et aux effets troposphériques sur la propagation des ondes radioélectriques.
P.313	Propagation générale	Voir version électronique	Terminologie et notation employées pour décrire les différents affaiblissements associés à une liaison radioélectrique.

3.3 Guide des méthodes de prévision de la propagation des ondes radioélectriques des Recommandations UIT-R de la Série P utiles pour l'analyse des brouillages

Le Tableau 3.3-1 constitue un guide d'un choix de méthodes de prévision de la propagation provenant des Recommandations UIT-R de la Série P. Les facteurs d'applicabilité des méthodes dont il est question dans ce Tableau sont les caractéristiques du trajet, les paramètres de fonctionnement et d'emplacement des systèmes radioélectriques, des critères temporels statistiques et des contraintes sur les données d'entrée du modèle. Le

Tableau 3.3-1 est une version modifiée de celui qui figure dans la Recommandation UIT-R P.1144-4 «Guide pour l'application des méthodes de prévision de la propagation de la Commission d'études 3 des radiocommunications».

Chacune des méthodes de prévision de la propagation citées dans le Tableau 3.3-1 est décrite en détail dans les Recommandations UIT-R de la Série P. A noter que toutes les Recommandations font l'objet de révisions et peuvent être remplacées, et qu'il convient d'utiliser la dernière version des Recommandations en vigueur.

Les Recommandations choisies sont les suivantes:

- a) **UIT-R P.452** – Méthode de prévision pour évaluer les brouillages entre stations situées à la surface de la Terre à des fréquences supérieures à 0,1 GHz environ.
- b) **UIT-R P.528** – Courbes de propagation dans les bandes d'ondes métriques, décimétriques et centimétriques pour le service mobile aéronautique et le service de radionavigation aéronautique.
- c) **UIT-R P.533** – Méthode de prévision de la qualité de fonctionnement des circuits en ondes décimétriques.
- d) **UIT-R P.619** – Données sur la propagation nécessaires à l'évaluation des brouillages entre des stations dans l'espace et des stations situées à la surface de la Terre.
- e) **UIT-R P.620** – Données sur la propagation nécessaires au calcul des distances de coordination dans la gamme de fréquences 100 MHz à 105 GHz.
- f) **UIT-R P.1546** – Méthode de prévision de la propagation point à zone pour les services de Terre entre 30 MHz et 3 000 MHz.
- g) **UIT-R P.1812** – Méthode de prévision de la propagation fondée sur le trajet pour les services de Terre point à zone dans les bandes des ondes métriques et décimétriques.

Les Recommandations citées ci-dessus ont été choisies parce qu'elles couvrent le sous-ensemble le plus complet de l'ensemble des mécanismes de propagation et des bandes de fréquences utiles pour les scénarios de partage ou les évaluations des brouillages.

TABLEAU 3.3-1

Méthodes de prévision de la propagation des ondes radioélectriques choisies dans les Recommandations UIT-R de la Série P*(Version modifiée du tableau figurant dans la Rec. UIT-R P.1144-6)*

Méthode	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquence	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur du terminal	Données d'entrée principales
Rec. UIT-R P.452	Services utilisant des stations à la surface de la Terre; brouillage	Point à point	Affaiblissement le long du trajet	100 MHz à 50 GHz	Non spécifiée mais jusqu'à et au-delà de l'horizon radioélectrique	0,001 à 50 Année moyenne et mois le plus défavorable	Sans objet	Aucune limite spécifiée, dans les limites de la couche de surface de l'atmosphère. (Ne s'applique pas pour les applications aéronautiques.)	Données sur le profil du trajet Fréquence Pourcentage du temps Hauteur de l'antenne d'émission Hauteur de l'antenne de réception Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Données météorologiques
Rec. UIT-R P.528	Evaluation des affaiblissements de transmission de référence susceptibles d'être observés dans les services aéronautiques	Point à zone	Affaiblissement le long du trajet	125 MHz à 15,5 GHz	0 à 1 800 km (Pour les applications aéronautiques, une distance horizontale de 0 km ne veut pas dire une longueur de trajet de 0 km.)	1 à 95	Sans objet	H1: 1,5 m à 20 km H2: 1 à 20 km	Distance Hauteur de l'émetteur Fréquence Hauteur du récepteur Pourcentage du temps

Méthode	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquence	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur du terminal	Données d'entrée principales
Rec. UIT-R P.533	Méthode de prévision des caractéristiques de la qualité de fonctionnement pour la prévision de la propagation de l'onde ionosphérique	Point à point	Fréquence maximale utilisable (MUF) de référence Champ de l'onde ionosphérique Puissance disponible à l'entrée du récepteur Rapport signal/bruit Fréquence minimale utilisable (LUF) Fiabilité du circuit	2 à 30 MHz	Jusqu'à 40 000 km	Tous les pourcentages	Sans objet	Sans objet	Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Nombre de taches solaires Mois Heure(s) de la journée Fréquence Puissance de l'émetteur Type d'antenne d'émission Type d'antenne de réception
Rec. UIT-R P.619	Evaluation des brouillages entre des stations dans l'espace et des stations situées à la surface de la Terre	Point à point	Niveau de la puissance de brouillage	100 MHz à 30 GHz	Non spécifiée	Non spécifié	Sans objet	Aucune limite spécifiée	Données sur le profil du trajet Fréquence Pourcentage du temps Hauteur de l'antenne d'émission Hauteur de l'antenne de réception Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Données météorologiques
Rec. UIT-R P.620	Coordination en fréquence de la station terrienne	Distance de coordination	Distance à laquelle l'affaiblissement de propagation requis est atteint	100 MHz à 105 GHz	Jusqu'à 1 200 km	0,001 à 50	Sans objet	Aucune limite spécifiée dans la couche de surface de l'atmosphère (ne s'applique pas pour les applications aéronautiques)	Affaiblissement de transmission de référence minimal Fréquence Pourcentage du temps Angle d'élévation de la station terrienne Faisceau d'antenne principal Ouverture du faisceau à 3 dB

Méthode	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquence	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur du terminal	Données d'entrée principales
Rec. UIT-R P.1546	Services de Terre Circuits radioélectriques troposphériques sur des trajets terrestres, des trajets maritimes, et/ou des trajets mixtes terrestres-maritimes	Point à zone	Champ	30 MHz à 3 000 MHz	1 à 1 000 km	1 à 50	1 à 99	<i>Émetteur/base:</i> hauteur équivalente de moins de 0 m à 3 000 m <i>Récepteur/mobile:</i> > 1 m	Hauteur du sol et couverture du sol (facultatif) Classe du trajet Distance Hauteur de l'antenne d'émission Fréquence Pourcentage du temps Hauteur de l'antenne de réception Angle de dégagement du terrain Pourcentage des emplacements Gradient du coïndice
Rec. UIT-R P.1812	Services de Terre	Point à point Point à zone	Champ	30 MHz à 3 GHz	Non spécifiée, mais jusqu'à et au-delà de l'horizon radioélectrique	1 à 50	1 à 99	Aucune limite spécifiée, dans la couche de surface de l'atmosphère (ne s'applique pas pour les applications aéronautiques)	Données sur le profil du trajet Fréquence Pourcentage du temps Hauteur de l'antenne d'émission Hauteur de l'antenne de réception Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Données météorologiques

NOTE 1 – A chaque Recommandations UIT-R figurant dans le Tableau 1 sont associées des colonnes d'information qui indiquent:

Domaine d'application: le ou les service(s) ou applications auxquels est destinée la Recommandation.

Type: les cas auxquels s'applique la Recommandation, tels que point à point, point à zone, visibilité directe, etc.

Données de sortie: la valeur du paramètre de sortie fournie par la méthode, par exemple, affaiblissement le long du trajet.

Fréquences: la gamme des fréquences pour lesquelles s'applique la Recommandation.

Distances: la gamme des distances pour lesquelles s'applique la Recommandation.

Pourcentage du temps: valeurs ou gamme des valeurs des pourcentages de temps pour lesquelles s'applique la Recommandation. Le pourcentage du temps correspond à celui pendant lequel la valeur du signal prévu est dépassée au cours d'une année moyenne.

Pourcentage des emplacements: la gamme des pourcentages des emplacements pour lesquels s'applique la Recommandation. Le pourcentage des emplacements correspond à celui, à l'intérieur, par exemple, d'un carré de 100 à 200 m de côté, où le signal prévu est dépassé.

Hauteur des terminaux: la gamme des hauteurs des antennes des terminaux pour lesquelles s'applique la Recommandation.

Données d'entrée: liste des paramètres utilisés dans la méthode de la Recommandation; ces paramètres sont classés par ordre d'importance et, dans certains cas, on peut utiliser des valeurs par défaut.

3.4 Phénomènes spécifiques de propagation des ondes radioélectriques dans les Recommandations UIT-R de la Série P

Les Recommandations de la Série P présentent de nombreux modèles qui concernent des effets de propagation spécifiques. Certains de ces modèles sont intégrés dans les méthodes de prévision de la propagation citées ci-dessus. D'autres sont indépendants et servent à étudier un phénomène de propagation spécifique. Tous les modèles sont régulièrement validés et actualisés par la Commission d'études 3 sur la base de nouvelles connaissances, telles que la corrélation avec les mesures de propagation. Les versions les plus récentes des Recommandations de la Série P sont disponibles sur le site web de l'UIT.

3.4.1 Effets de propagation spécifiques dans les Recommandations UIT-R de la Série P

Le Tableau 3.4-1 présente un résumé des effets de propagation dans différentes bandes de fréquences, ainsi qu'une liste d'applications pour chaque bande.

La Tableau 3.4-2 résume brièvement certaines Recommandations de la Série P, à savoir celles qui traitent de certaines propriétés ou de certains mécanismes de propagation spécifiques ayant une incidence sur les ondes radioélectriques. Les Commissions d'études intéressées peuvent utiliser ces tableaux pour obtenir de plus amples informations et des méthodes de calcul spécifiques supplémentaires concernant tout mécanisme de propagation courant dont il est question dans le présent Manuel, ou pour d'autres scénarios de modélisation liés au mécanisme de propagation.

TABLE 3.4-1

Effets de propagation dans différentes bandes de fréquences

Bandes de fréquences	Influence atmosphérique	Influence terrestre	Applications	Commentaires
Ondes extrêmement longues < 3 kHz	Propagation dans les guides d'ondes et les cavités avec l'ionosphère comme limite supérieure	La limite inférieure du guide d'ondes est la Terre, les ondes se propagent en profondeur sous terre ou dans la mer	Communications à longue distance avec les sous-marins, les mines, les télédétecteurs souterrains, etc.	Antennes de très grande taille, débit de données très faible
Ondes myriamétriques 3 à 30 kHz	Propagation dans les guides d'ondes avec la Région D comme limite supérieure	La limite inférieure est la Terre	Services télégraphiques mondiaux avec les navires, services fixes à longue distance, auxiliaire de la navigation, références de temps	Antennes de très grande taille, débit de données faible
Ondes kilométriques 30 à 300 kHz	Ondes au-dessous de la Région D jusqu'à 100 kHz, ondes ionosphériques distinctes des ondes de sol au-dessus de 100 kHz	Les ondes de sol suivent la Terre	Communications à longue distance avec les navires, systèmes de navigation à moyenne distance	Antennes de grande taille, qu'il est difficile de rendre directives
Ondes hectométriques 300 à 3 000 kHz	Ondes ionosphériques aux grandes distances et aux fréquences élevées	Ondes de surface aux petites distances et aux basses fréquences, réflexions sur le sol	Radiodiffusion, auxiliaires de la navigation, autres services fixes et mobiles	Antennes de grande taille mais efficaces, zone de service d'environ 100 km le jour, distances beaucoup plus longues possibles la nuit
Ondes décamétriques 3 à 30 MHz	Ionosphérique au-delà de la distance de saut (6 à 30 MHz)	Ondes de surface uniquement aux petites distances (3 à 6 MHz), réflexion, diffusion	Fixe point à point, mobile terrestre, maritime et aéronautique, radiodiffusion à longue distance	Réseaux d'antennes-rideaux, antennes-fouets verticales, réseaux d'antennes log-périodiques
Ondes métriques 30 à 300 MHz	La réflexion des ondes troposphériques sur la couche sporadique E provoque des brouillages	Liaisons de Terre en visibilité directe et au-delà de la visibilité directe avec diffraction, effets de trajets multiples dus à la réflexion	Radiodiffusion, mobile terrestre, aéronautique et maritime, téléphones sans cordon, radionavigation	Utilisation d'antennes Yagi, à fente et hélicoïdales

TABLEAU 3.4-1 (*fin*)

Bandes de fréquences	Influence atmosphérique	Influence terrestre	Applications	Commentaires
Ondes décimétriques 300 à 3 000 MHz	Réfraction, réflexion aux basses fréquences et propagation par conduits aux fréquences élevées, diffusion troposphérique au-delà de 500 MHz environ	Liaisons de Terre et Terre vers espace en visibilité directe et légèrement au-delà de la visibilité directe, effet d'écran dû aux bâtiments et aux collines	Radiodiffusion télévisuelle, radars, fixe point à point, mobile, SMS, SRS, SFS, radiocommunications cellulaires, téléphones sans cordon	Utilisation d'antennes à large bande et à gain élevé
Ondes centimétriques 3 à 30 GHz	Réfraction et propagation par conduits, affaiblissement dû à la pluie, etc., scintillation, la propagation par conduit peut causer des brouillages, la propagation par trajets multiples provoque des évanouissements, absorption par la pluie, la neige, le brouillard, les nuages et les gaz	Liaison de Terre et Terre vers espace en visibilité directe, diffraction et effet d'écran dus aux bâtiments, diffusion et réflexion sur les bâtiments, le terrain, les arbres et la mer	Services fixes de Terre et par satellite, mobile, systèmes futurs du SMS, télédétection radar	Antennes paraboliques et antennes cornet à gain élevé
Ondes millimétriques 30 à 300 GHz	Le gradient de l'indice de réfraction, la pluie, etc., causent un affaiblissement et une diffusion, absorption par la vapeur d'eau et l'oxygène, scintillation	Liaison de Terre en visibilité directe à courte distance, effet d'écran dû aux bâtiments et aux feuillages	Systèmes de communication à courte distance fixes et mobiles, applications satellitaires, télédétection, radars	Petites antennes paraboliques
Ondes submillimétriques 300 à 3 000 GHz	Le gradient de l'indice de réfraction localisé, la pluie, etc., causent un affaiblissement important, absorption par les gaz, scintillation	Liaisons en visibilité directe à très courte distance, effet d'écran dû aux arbres	Communications à courte distance, télédétection	Antennes à miroir ou à lentille, manque d'équipement
Ondes infrarouge et optiques 3 THz à 430 THz et 430 THz à 860 THz	Le gradient de l'indice de réfraction localisé, la pluie, etc., causent un affaiblissement très important, absorption par les gaz, scintillation	Liaison en visibilité directe, effet d'écran dû à de petits objets	Communications à courte distance et intérieures pour l'infrarouge lointain, alarmes, détecteurs de fumée, télécommande et spectrométrie pour l'infrarouge proche, liaisons optiques en visibilité directe	Utilisation de miroirs et de lentilles comme antennes

TABLEAU 3.4-2

**Modèles des Recommandations UIT-R de la Série P concernant
des effets de propagation spécifiques**

Recommandation UIT-R	Sujet	Titre	Objet
P.525	Propagation en espace libre	Calcul de la propagation en espace libre	Formule fondamentale pour l'affaiblissement de transmission de référence dû à la propagation en espace libre. Ce calcul est souvent utilisé comme point de référence par la Commission d'études 3 dans d'autres calculs d'affaiblissement de propagation
P.453	Réfraction	Indice de réfraction radioélectrique: formule et données de réfractivité	Définition de l'indice de réfraction et procédures permettant de calculer cet indice
P.834	Réfraction	Effets de la réfraction troposphérique sur la propagation des ondes radioélectriques	Méthodes et calculs pour l'évaluation des effets de diffraction à grande échelle dans l'atmosphère
P.531	Effets ionosphériques	Données de propagation ionosphérique et méthodes de prévision requises pour la conception de services par satellite et de systèmes à satellites	Méthodes et calculs pour l'évaluation des effets ionosphériques sur les trajets Terre vers espace de 0,1 à 12 GHz
P.532	Effets ionosphériques	Effets ionosphériques et problèmes d'exploitation liés à la modification artificielle de l'ionosphère et du canal radioélectrique	Méthodes et calculs pour l'évaluation de l'effet des signaux radioélectriques et d'autres phénomènes, tels que les produits chimiques, sur l'ionosphère
P.844	Effets ionosphériques	Facteurs ionosphériques qui affectent le partage des fréquences dans les bandes des ondes métriques et décimétriques (30 MHz-3 GHz)	Informations sur l'ionosphère à prendre en considération lors de la planification de systèmes dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques
P.1239	Effets ionosphériques	Caractéristiques ionosphériques de référence de l'UIT-R	Informations de référence générales pour les calculs ionosphériques
P.676	Gaz atmosphériques	Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère	Description des effets des gaz de l'atmosphère sur les ondes radioélectriques et calculs permettant d'évaluer ces effets
P.833	Obstacles	Affaiblissement dû à la végétation	Modèle et présentation des effets de différentes formes de végétation sur les ondes radioélectriques

TABLEAU 3.4-2 (fin)

Recommandation UIT-R	Sujet	Titre	Objet
P.837	Précipitations	Caractéristiques des précipitations pour la modélisation de la propagation	Cartes de données météorologiques pour effectuer des calculs de l'affaiblissement
P.838	Précipitations	Modèle d'affaiblissement linéique dû à la pluie destiné aux méthodes de prévision	Méthode de calcul de l'affaiblissement dû à la pluie sur les trajets de communication
P.840	Précipitations	Affaiblissement dû aux nuages et au brouillard	Description de l'affaiblissement dû aux nuages et au brouillard sur les trajets de communication et méthode de calcul de cet affaiblissement
P.1815	Précipitations	Affaiblissement différentiel dû à la pluie	Méthode de calcul de l'affaiblissement différentiel dû à la pluie sur les trajets de communication par satellite

3.5 Contraintes sur les trajets de propagation des ondes radioélectriques dans les Recommandations UIT-R de la Série P

En raison de la diversité des services pour lesquels elles sont utilisées, les ondes radioélectriques traversent de nombreux environnements de propagation différents. Si les mécanismes spécifiques de propagation des ondes radioélectriques traités au § 3.4.1 sont les paramètres les plus couramment utilisés dans la modélisation des brouillages, il est important de connaître le trajet de propagation utilisé par une liaison particulière, de façon à pouvoir appliquer un modèle approprié dans lequel il soit tenu compte de tous les effets de propagation à prendre en considération. Le Tableau 3.5-1 résume brièvement des Recommandations UIT-R de la Série P dans lesquelles sont exposées les considérations relatives à la propagation et les données requises en vue de l'analyse des trajets de propagation utilisés par certains services de radiocommunication. Ce tableau peut être utilisé par les parties intéressées afin d'obtenir de plus amples informations et des méthodes de calcul spécifiques supplémentaires concernant toute caractéristique de propagation liée au trajet dont il est question dans le présent Manuel ou pour d'autres scénarios de modélisation liés au trajet.

TABLEAU 3.5-1

**Recommandations concernant les données de propagation nécessaires
pour l'analyse de services spécifiques**

Méthode	Type de trajet	Titre	Objet
UIT-R P.679	Espace vers Terre	Données de propagation nécessaires pour la conception des systèmes de radiodiffusion par satellite	Considérations relatives à la propagation qui doivent être prises en compte lors de la conception ou de l'analyse des systèmes de radiodiffusion par satellite
UIT-R P.680	Terre vers espace	Données de propagation nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication mobiles maritimes Terre-espace	Considérations relatives à la propagation qui doivent être prises en compte lors de la conception ou de l'analyse des systèmes de communication mobiles maritimes
UIT-R P.681	Terre vers espace	Données de propagation nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication mobiles terrestres Terre-espace	Considérations relatives à la propagation qui doivent être prises en compte lors de la conception ou de l'analyse des systèmes de télécommunication mobiles Terre-espace
UIT-R P.682	Terre vers espace	Données de propagation nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication aéronautiques mobiles Terre-espace	Considérations relatives à la propagation qui doivent être prises en compte lors de la conception ou de l'analyse des systèmes de télécommunication mobiles aéronautiques Terre-espace
UIT-R P.530	Visibilité directe	Données de propagation et méthodes de prévision nécessaires pour la conception de faisceaux hertziens à visibilité directe de Terre	Considérations relatives à la propagation et calculs intervenant dans la conception ou l'analyse des systèmes en visibilité directe
UIT-R P.1407	Trajets multiples	Propagation par trajets multiples et paramétrage de ses caractéristiques	Considérations relatives à la propagation qui doivent être prises en compte lors de la conception ou de l'analyse des systèmes de télécommunication par trajets multiples

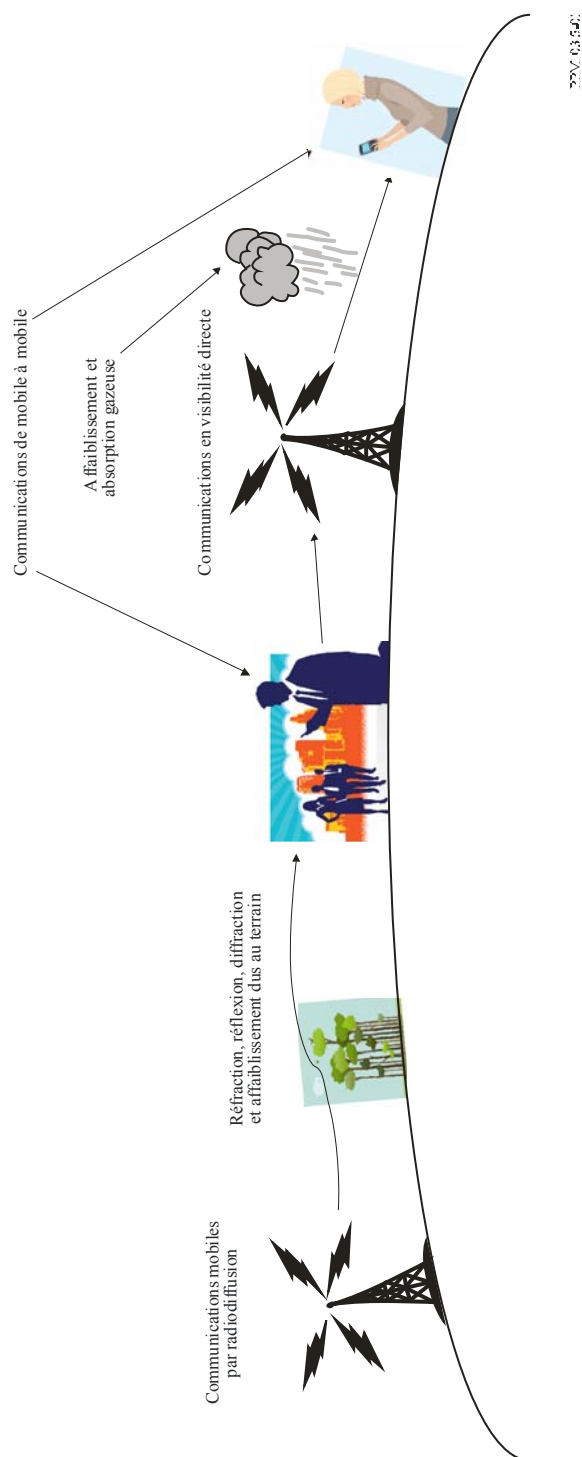
Un trajet de communication peut également faire intervenir plusieurs liaisons depuis la station d'émission d'origine jusqu'au récepteur de destination. Les liaisons peuvent comporter aussi bien des bonds de Terre que des bonds de communication par satellite dans le sens Terre vers espace. Les liaisons peuvent prendre de nombreuses formes, dans lesquelles sont utilisés des stations d'émission multiples, des répéteurs au sol, des amplificateurs au sol, ou même une liaison par satellite au milieu d'un trajet de Terre. La communication entre deux appareils mobiles constitue un exemple de ce type de transmission à bonds multiples. L'appareil mobile d'émission peut ne pas être capable de communiquer directement avec l'appareil mobile de réception visé en raison de la distance ou d'autres facteurs. Par conséquent, l'appareil mobile d'émission doit communiquer en passant par un ou plusieurs pylônes radioélectriques intermédiaires. Il est possible que le pylône radioélectrique doive ensuite émettre en direction d'un autre pylône radioélectrique avant que la communication avec le récepteur visé ne puisse être établie. La liaison de communication peut également faire intervenir un trajet par satellite si l'appareil de communication de réception se trouve à une grande distance de l'appareil d'émission.

Les effets de propagation qui peuvent avoir une incidence sur les trajets terrestres sont la réflexion, la réfraction, l'affaiblissement en espace libre et la diffraction due au terrain et aux obstacles physiques qui peuvent se trouver sur le trajet de l'onde radioélectrique, comme indiqué dans le Tableau 3.5-1. L'absorption gazeuse dans l'atmosphère peut également entraîner des effets de propagation sur les trajets de Terre. La Fig. 3.5-1 illustre les différents trajets de propagation et les mécanismes de propagation qui s'appliquent à

chaque trajet. Ces illustrations peuvent s'utiliser pour faciliter l'identification du modèle de propagation qu'il convient d'appliquer pour des scénarios spécifiques de partage en cas de brouillages.

FIGURE 3.5-1

Effets des mécanismes de propagation le long d'un trajet de Terre

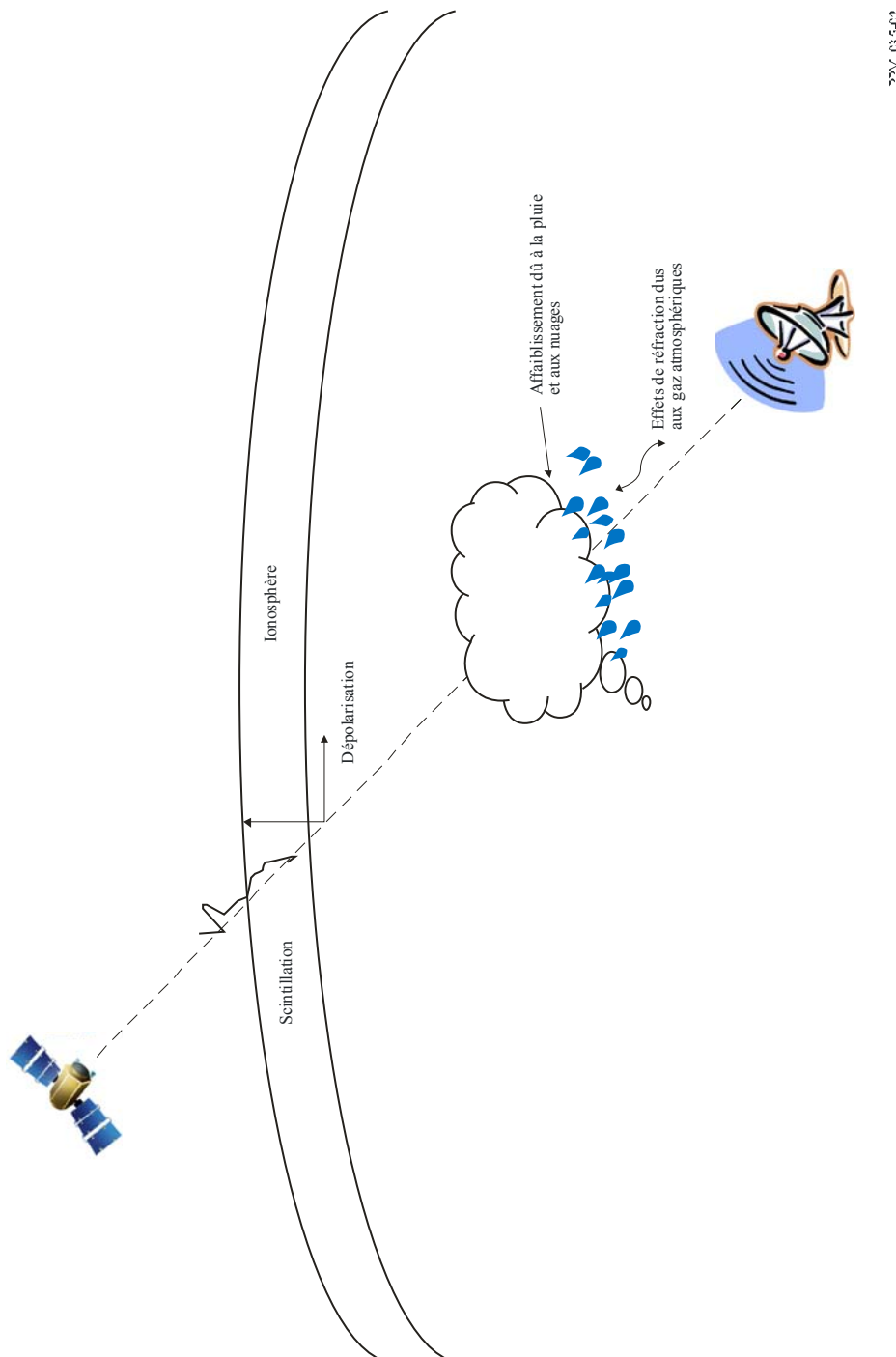


Les trajets Terre vers espace et espace vers Terre traversent l'atmosphère terrestre. De nombreux effets de propagation peuvent avoir des incidences sur la liaison radioélectrique. Un signal émis par une station terrienne peut être diffracté si l'environnement n'est pas dénué d'obstacles. Au cours de son ascension, le

signal peut subir un affaiblissement dû aux gaz atmosphériques, aux nuages ou aux hydrométéores. Lorsqu'il traverse l'ionosphère, il peut subir un phénomène de scintillation, un affaiblissement supplémentaire ou une dépolarisation due à la rotation de Faraday. Un signal émis depuis l'espace subit en général un affaiblissement dans l'atmosphère et l'ionosphère, puis un phénomène de diffraction et des effets dus au sol lorsqu'il se propage à une distance plus faible de la surface de la Terre. La Fig. 3.5-2 illustre le trajet espace vers Terre d'une onde radioélectrique ainsi que les différents effets de propagation qui peuvent avoir des incidences sur le signal radioélectrique au cours de sa propagation le long du trajet.

FIGURE 3.5-2

Effets des mécanismes de propagation le long d'un trajet espace vers Terre ou Terre vers espace



CHAPITRE 4

PHENOMENES DE PROPAGATION DES ONDES RADIOELECTRIQUES

4.1 Introduction

Le présent chapitre décrit certains principes fondamentaux de la propagation des ondes radioélectriques, notamment les propriétés liées à l'environnement et la terminologie de la propagation applicable dans le cadre de l'analyse des brouillages à l'aide des modèles et des méthodes figurant dans les Recommandations UIT-R de la Série P.

4.2 Nature statistique de la propagation radioélectrique

De nombreux phénomènes ont une incidence sur la propagation des signaux radioélectriques. Etant donné qu'il est très difficile d'évaluer ou de tenir compte de tous les phénomènes qui peuvent entrer en jeu, même dans le cas d'une liaison fixe unique et bien définie d'un système radioélectrique utile, les observations de l'intensité du signal fluctuent en fonction du temps. En général, ces fluctuations peuvent avoir deux échelles de temps: une première qui varie approximativement d'heure en heure, et une seconde, presque instantanée, déterminée par les différences des temps d'arrivée de rayons provenant de centres de diffusion situés dans l'environnement et qui se superposent de manière à la fois destructive et constructive, phénomène souvent appelé propagation par trajets multiples. Ce dernier type de variation dépasse le cadre du présent Manuel. En revanche, si l'on suppose que l'on mesure les valeurs médianes horaires de l'intensité du signal, prenant ainsi la moyenne des variations liées à la propagation par trajets multiples, alors il est possible de caractériser les fluctuations de ces valeurs médianes horaires, si l'on effectue de telles mesures sur une période, disons, de plusieurs années. Bien que ces fluctuations des valeurs médianes horaires aient des causes déterministes, ni nos observations ni les modèles et les méthodes des Recommandations de la Série P n'ont en général la complexité requise pour tenir compte de ces effets. En particulier, les modèles ne pourraient pas être utilisés de manière fiable pour prévoir les séries temporelles des fluctuations des valeurs médianes horaires. En conséquence, nous partons du principe que nous pouvons caractériser la valeur médiane à long terme de ces valeurs médianes horaires, ainsi que les valeurs dépassées pendant des fractions du temps données, ce qui revient à décrire la fonction de répartition de notre variable (supposée) aléatoire, la valeur médiane de l'intensité du signal. Des assertions telles que «sur ce trajet, l'intensité du signal de 41 dB ($\mu\text{V/m}$) est dépassée pendant 10% du temps», découlent de notre modèle de variabilité temporelle.

Dans les Recommandations UIT-R P.452, UIT-R P.1546 et UIT-R P.1812, les utilisateurs constateront que la variabilité temporelle est fonction de la distance et du climat radioélectrique, en particulier de la proximité de vastes étendues d'eau. La seconde de ces relations n'est pas surprenante, puisque l'on s'attend à ce que les modifications de l'atmosphère, spécifiquement de l'indice de réfraction atmosphérique et de son taux de variation, soient responsables de la plus grande partie de la variabilité temporelle qui nous intéresse ici. Le fait que la variabilité temporelle dépende de la distance n'est pas trop surprenant non plus, si l'on se souvient que des mécanismes différents ont tendance à prévaloir dans la propagation troposphérique à des gammes de distances différentes, mécanismes dont on peut raisonnablement s'attendre à ce qu'ils donnent lieu à des fonctions de répartition différentes.

Si l'on passe maintenant à la question des mesures à long terme portant sur différents trajets dans la même situation, c'est-à-dire des trajets pour lesquels les paramètres des systèmes sont les mêmes, choisis de la même façon à l'intérieur d'une zone unique, et pour lesquels les paramètres environnementaux sont aussi semblables que possible, alors on constate que les statistiques de la variabilité temporelle à long terme (c'est-à-dire les fonctions de répartition) changent d'un trajet à l'autre. Cette variation d'un trajet à l'autre des statistiques relatives à la variabilité temporelle à long terme est connue sous le nom de variabilité d'emplacement. Une cause possible de la variabilité d'emplacement est la suivante: bien que les profils des trajets semblent indiscernables du point de vue statistique, des différences de l'ordre du détail ont une

incidence sur leur variabilité à long terme. Cela se traduit par un second niveau de répartition, et l'on rencontre des assertions telles que «dans cette situation, il y aura 30% des emplacements du trajet où l'intensité du signal de 41 dB ($\mu\text{V/m}$) sera dépassée pendant au moins 10% du temps».

Dans une Recommandation comme la Recommandation UIT-R P.452, où n'est pris en considération qu'un seul chemin bien défini, il n'y a pas lieu de parler de chemins différents ou de procéder à des ajustements afin de tenir compte de la variabilité d'emplacement. Cependant, dans les méthodes de prévision point à zone des Recommandations UIT-R P.1546 et UIT-R P.1812, il est certain que différents trajets doivent être pris en considération, et il convient par conséquent de procéder à des ajustements pour tenir compte de la variabilité d'emplacement. La variabilité d'emplacement ne dépend pas de la distance ou du climat radioélectrique, mais de la fréquence et de la situation. Dans la Recommandation UIT-R P.1812, la variabilité d'emplacement dépend également de hauteur de l'antenne de réception.

Avant d'entamer l'étude suivante, il sera utile de présenter le concept d'écart. Il s'agit de calculer les quantiles de l'affaiblissement de transmission de référence à distance x , $L_b(q_T, q_L, x)$. Les lois considérées étant presque normales, il est plus commode lors des calculs d'exprimer les fractions en termes de variables aléatoires normales centrées réduites. La fonction de répartition normale complémentaire est donnée par:

$$Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^\infty e^{-t^2/2} dt = q \quad (4.1)$$

Et la variable aléatoire normale centrée réduite, z , s'obtient à l'aide de la fonction réciproque:

$$z(q) = Q^{-1}(q) \quad (4.2)$$

Si le champ, E (dB), est une variable aléatoire suivant une loi normale, d'espérance (aussi égale à sa médiane) E_0 et d'écart type σ , alors ses quantiles sont donnés par:

$$E(q) = E_0 + \sigma \cdot z(q). \quad (4.3)$$

A noter la convention selon laquelle la direction positive de l'écart ($0 \leq q \leq 0,5$) correspond à une augmentation du champ, et donc à une diminution de l'affaiblissement. Pour obtenir le quantile à deux paramètres de l'affaiblissement de transmission de référence, $L_b(q_T, q_L, x)$, on écrit:

$$L_b(q_T, q_L, x) = L_b(0,5,0,5, x) - Y_T(q_T) - Y_L(q_L) \quad (4.4)$$

où la valeur médiane globale, $L_b(0,5,0,5, x) = L_{bu}(0,5)$, et les écarts, Y_L et Y_T , peuvent s'écrire:

$$Y_L(q_L) = \sigma_L \cdot z(q_L) \quad (4.5a)$$

$$Y_T(q_T) = \sigma_{T+} \cdot z(q_T) \text{ pour } z(q_T) \geq 0 \quad (4.5b)$$

et où le «pseudo écart-type» de la variabilité temporelle, σ_{T+} , est fonction de la distance x . Une méthode de calcul du «pseudo écart-type» de la variabilité temporelle, σ_{T+} , est présentée ci-après, puisqu'il n'est pas donné explicitement de telle méthode dans les Recommandations.

Pour l'évaluation de certains brouillages et/ou certaines études de partage concernant les services mobiles, il peut être nécessaire de calculer la combinaison de la variabilité temporelle et de la variabilité d'emplacement. Dans les cas concernés, la somme quadratique peut être utilisée comme approximation de la combinaison de ces deux variabilités. Le «pseudo écart-type» de la variabilité temporelle, σ_{T+} , s'obtient à l'aide des quantiles des champs (dB) correspondant à 10% du temps et à 50% du temps:

$$\sigma_{T+} = \frac{E(0,1,0,5) - E(0,5,0,5)}{1,282} \quad (4.6a)$$

ou, en fonction des quantiles des affaiblissements de transmission de référence (dB) correspondants:

$$\sigma_{T+} = \frac{L_{bu}(0,5) - L_{bu}(0,1)}{1,282} \quad (4.6b)$$

Comme indiqué précédemment, le «pseudo écart-type» de la variabilité temporelle dépend de la distance du trajet, et doit donc être évalué pour chacune des distances prises en considération.

On obtient alors une approximation de l'écart type combiné de la variabilité temporelle et de la variabilité d'emplacement, σ_{tl} , en prenant la somme quadratique des écarts types de la variabilité temporelle, σ_{T+} , et de la variabilité d'emplacement, σ_L :

$$\sigma_{tl} = \sqrt{\sigma_{T+}^2 + \sigma_L^2}. \quad (4.7)$$

Evaluation du service et des brouillages

Dans de nombreux cas, l'utilisation efficace de la bande attribuée à un service de radiocommunication nécessite la réutilisation des fréquences. En outre, si la largeur de la bande attribuée à un service dépasse la largeur de bande nécessaire à l'exploitation d'un seul canal, il peut y avoir des émetteurs dans les canaux adjacents, à un certain espacement de fréquence par rapport au signal utile d'un émetteur donné. Cette situation peut donner lieu à un problème important, celui des brouillages dans le même canal ou dans les canaux adjacents, qui peuvent survenir lorsque plusieurs émetteurs fonctionnent dans la même bande. Lorsqu'une bande de fréquences est utilisée en partage par différents services, il existe aussi un risque de brouillage interservice, même si chacun des services pris séparément est exempt de brouillage.

- *Rapport signal utile/signal brouilleur (D/U) dans un service*

Lors de l'étude du brouillage intraservice, une méthode courante pour évaluer l'incidence des brouillages consiste à calculer le rapport entre l'intensité du signal utile et l'intensité du signal brouilleur, soit dans le même canal, soit dans les canaux adjacents. En général, même si ce n'est pas toujours le cas, les brouillages dans le même canal sont les plus préjudiciables, et constituent le facteur limitatif de la réutilisation intraservice des fréquences. Ici, le principe de base est que le signal utile doit être assez puissant pour que sa disponibilité en termes de fractions du temps soit suffisamment grande pour que le service soit considéré acceptable ou suffisant. Si l'on considère un service assimilable à la radiodiffusion assurant une couverture équidirective, il est naturel d'étendre la notion de disponibilité du signal à des fractions d'emplacement et de l'appliquer à la zone de couverture.

Les contraintes qui ont un effet limitatif sur la planification des services correspondent à deux scénarios de déploiement théoriques. Dans le cas où le signal utile provient d'un émetteur de très faible puissance et isolé, il suffirait d'augmenter la puissance de l'émetteur pour augmenter la zone de couverture du signal, tous les autres paramètres étant constants. On parle alors de service limité par le bruit. (De manière analogue, dans le cas d'un trajet unique bien défini, le fait d'augmenter la puissance de l'émetteur permettrait d'augmenter la fraction du temps pendant laquelle le signal utile est disponible.) La taille de la zone de couverture serait limitée uniquement par les contraintes pratiques sur la puissance émise.

Toutefois, s'il est nécessaire aux fins de la réutilisation des fréquences que l'émetteur ne soit pas isolé, mais émette sur la même fréquence et en même temps que d'autres émetteurs se trouvant à une certaine distance, dont chacun est susceptible d'augmenter librement sa puissance, alors il est clair que le fait d'augmenter la puissance des émetteurs se révèle en définitive contre-productif. En effet, les brouillages causés par les émetteurs situés à une certaine distance les uns des autres empiètent sur leurs zones de couverture respectives, et l'augmentation de la puissance de ces émetteurs ne se traduit pas par une augmentation de la taille de leur zone de couverture. Le rapport entre la puissance du signal utile et la puissance du signal brouilleur requis pour fournir un service suffisant ou satisfaisant (c'est-à-dire un service disponible pendant les fractions de temps et aux fractions d'emplacement requises) détermine la taille de la surface de couverture de tout émetteur donné. On parle de service limité par le brouillage. Conséquence intéressante du fait qu'un service soit limité par les brouillages, il n'y a aucun intérêt à fournir une puissance supérieure à celle du signal utile *limité par le bruit* à la limite de la zone de couverture *limitée par les brouillages*.

Pour illustrer la façon dont nos modèles de propagation pourraient être utilisés afin de trouver la gamme «sans brouillages» d'un émetteur donné d'un service limité par les brouillages, on commence par exprimer la fiabilité requise. Tout d'abord, disons que le rapport de la puissance du signal utile à la puissance du signal brouilleur, R , dépasse la valeur R_0 pendant au moins $q_T \times 100\%$ du temps. Ensuite, disons que ce quantile de temps doit dépasser R_0 pour $q_L \times 100\%$ des emplacements. Si l'on adopte le point de vue d'un utilisateur du signal utile, alors une interprétation naturelle de la notion de service suffisant ou satisfaisant implique que $q_T, q_L \geq 0,5$. Une expression quantitative de ce qui précède est la suivante:

$$R(x) = R(0,5,0,5, x) + Y_{TR}(q_T) + Y_{LR}(q_L) \geq R \quad (4.8)$$

où x est la distance à laquelle se trouve l'émetteur utile et où les écarts sont donnés par:

$$Y_{TR}(q_T) = R(q_T, q_L, x) - R(0,5, q_L, x) \quad (4.9a)$$

$$Y_{LR}(q_L) = R(0,5, q_L, x) - R(0,5, 0,5, x) \quad (4.9b)$$

Lorsque le rapport, R , est mesuré en dB, il fait intervenir la différence entre deux variables aléatoires indépendantes: l'intensité du signal utile à l'emplacement x par rapport à l'émetteur utile, et l'intensité du signal brouilleur à l'emplacement x' par rapport à l'émetteur brouilleur (par exemple: $x' = s - x$, où s est la distance séparant les émetteurs utile et brouilleur). Si l'on néglige pour le moment la constante qui résulterait des différences entre les puissances des émetteurs, entre les gains des antennes d'émission et de réception, etc., on obtient pour expression du terme médian global:

$$R(0,5,0,5, x) \approx L_{bU}(0,5,0,5, x') - L_{bD}(0,5,0,5, x) \quad (4.10)$$

tandis que les écarts correspondants s'obtiennent par pseudo-convolution:

$$Y_{TR}(q_T) = -[Y_{TD}^2(q_T) + Y_{TU}^2(1 - q_T)]^{\frac{1}{2}} \quad (4.11a)$$

$$Y_{LR}(q_L) = -[Y_{LD}^2(q_L) + Y_{LU}^2(1 - q_L)]^{\frac{1}{2}} \quad (4.11b)$$

où les indices D et U correspondent respectivement aux stations utile (*desired*) et brouilleuse (*undesired*). Les signes négatifs globaux qui affectent les membres de droite viennent du fait que l'on suppose que $q_T, q_L \geq 0,5$. D'autre part, on utilise les quantiles complémentaires pour les signaux brouilleurs. En effet, si les quantiles de y_U sont $Y_U(q)$, alors les quantiles de $-y_U$ sont $-Y_U(1 - q)$. Les différents écarts sont donnés par:

$$Y_{TD}(q_T) = L_{bD}(q_T, q_L, x) - L_{bD}(0,5, q_L, x) \quad (4.12a)$$

$$Y_{TU}(1 - q_T) = L_{bU}(1 - q_T, 1 - q_L, x') - L_{bU}(0,5, 1 - q_L, x') \quad (4.12b)$$

$$Y_{LD}(q_L) = L_{bD}(0,5, q_L, x) - L_{bD}(0,5, 0,5, x) \quad (4.12c)$$

$$Y_{LU}(1 - q_L) = L_{bU}(0,5, 1 - q_L, x') - L_{bU}(0,5, 0,5, x') \quad (4.12d)$$

Si l'affaiblissement de transmission de référence augmente de façon monotone avec la distance, alors la gamme «sans brouillages» est $x \leq r$, où $R(r) = R_0$, le long de la ligne reliant les emplacements de l'émetteur utile et de l'émetteur brouilleur.

- *Partage entre des services (par exemple C/I)*

Dans l'exemple précédent, nous nous intéressions au brouillage intraservice à des emplacements où pourraient avoir lieu des tentatives de réception d'un signal utile en présence d'un signal brouilleur. Un exemple pratique consisterait à déterminer l'espacement optimal d'émetteurs de radiodiffusion fonctionnant dans le même canal, en vue de rendre aussi étendue que possible la couverture «sans brouillage» sur une zone de grande taille, comme un pays.

Une autre situation où des brouillages peuvent survenir est celle dans laquelle des fréquences sont utilisées en partage par différents services. Dans ce cas de figure, il est possible qu'un régulateur doive élaborer des règles pour chaque service concerné, afin de garantir une coexistence «sans brouillages». De même que précédemment, on entend par «sans brouillages» un niveau de fiabilité requis en termes du rapport des puissances respectives des signaux, c'est-à-dire le rapport de la puissance du signal utile, C , à la puissance du signal brouilleur, I , et la méthode de la section précédente peut également s'utiliser pour analyser ce type de scénario de brouillage. Toutefois, étant donné que, lorsque le rapport est mesuré en dB, il fait intervenir la différence entre deux variables aléatoires indépendantes, l'expression de la fiabilité doit s'appliquer de manière cohérente aussi bien au signal utile qu'au signal brouilleur.

Par exemple, une expression de la fiabilité faisant intervenir uniquement un pourcentage du temps, ce qui pourrait s'appliquer au cas d'une liaison dont les deux terminaux ont des positions fixes, doit être généralisée lorsque l'on considère les brouillages causés par une station mobile à cette liaison fixe. Dans ce cas, le quantile complémentaire de l'écart du signal brouilleur devrait s'appliquer à la *combinaison* de la variabilité temporelle et de la variabilité d'emplacement. Pour ce qui est des brouillages dans le sens opposé, c'est-à-dire les brouillages causés par la liaison fixe à la station mobile, l'expression de la fiabilité pour le signal utile ferait intervenir un pourcentage de la combinaison du temps et des emplacements. Le quantile complémentaire du signal brouilleur ferait intervenir la *combinaison* de la variabilité temporelle et de la variabilité d'emplacement, plutôt que la seule variabilité temporelle.

Comme second exemple, considérons le partage entre une station de radiodiffusion et une station mobile. Dans le cas des brouillages causés par un service mobile à un récepteur de radiodiffusion, la fiabilité du signal utile serait exprimée à l'aide du double quantile de la variabilité temporelle et de la variabilité d'emplacement. Pour le quantile complémentaire du signal mobile brouilleur, il convient également de tenir compte des deux paramètres. Concernant les brouillages dans le sens opposé, c'est-à-dire les brouillages causés par l'émetteur de radiodiffusion à la station mobile, l'expression de la fiabilité du signal utile serait exprimée au moyen du quantile de la *combinaison* du temps et de l'emplacement, de sorte que le quantile complémentaire du signal de radiodiffusion brouilleur devrait aussi faire intervenir la combinaison des deux paramètres.

Dans certains cas, pour lesquels il s'agit d'étudier uniquement la variabilité des signaux brouilleurs, on ne s'intéresse qu'aux quantiles complémentaires. Par exemple, dans le cas d'une station de radioastronomie, on pourrait partir du principe que les brouillages ne peuvent dépasser un seuil spécifique que pendant $q_T \times 100\%$ du temps. Dans ce cas, le sens de service «sans brouillages» correspond à une disponibilité/fiabilité du signal utile pendant $(1 - q_T) \times 100\%$ du temps, et l'interprétation naturelle de l'idée de service suffisant ou satisfaisant est $q_T \leq 0,5$.

4.3 Critères de protection contre les brouillages

Les critères de protection contre les brouillages (IPC) correspondent à un niveau relatif ou absolu de signal brouilleur défini au niveau du récepteur, dans des conditions bien précises, de manière à ne pas dépasser la dégradation admissible de la qualité de fonctionnement. Ces critères sont généralement définis comme un niveau absolu de puissance brouilleuse, I , un rapport entre la puissance brouilleuse et la puissance de bruit, I/N , ou un rapport entre la puissance de la porteuse et la puissance brouilleuse, C/I . Ils sont spécifiés soit pour un signal brouilleur cumulatif, c'est-à-dire correspondant au total de tous les signaux brouilleurs, soit pour un signal brouilleur à source unique. Les critères IPC cumulatifs sont généralement calculés à partir des objectifs de qualité de fonctionnement et peuvent être utilisés pour définir l'environnement de brouillage lors de la conception des systèmes. Les critères de protection IPC pour les signaux brouilleurs à source unique s'obtiennent à partir des critères cumulatifs et sont utilisés comme une forme de critère de partage aux fins du partage des fréquences.

Les critères IPC dépendent du type précis de signal brouilleur considéré, et sont généralement spécifiés pour quelques types de signaux génériques, tels que les ondes entretenues (CW), les signaux assimilables à du bruit ou les signaux à impulsion. En outre, certains de ces critères sont spécifiés pour des signaux à court terme ou à long terme, ou des signaux identiques au signal utile. Quelques paramètres supplémentaires sont généralement requis afin de spécifier entièrement les critères IPC. Il s'agit du seuil de puissance, de la largeur de bande de référence, du pourcentage du temps et du pourcentage d'emplacement, ainsi que d'autres conditions particulières, si nécessaire. L'examen des critères IPC spécifiés pour différents types de service permet de dégager la tendance suivante: les critères IPC exprimés en termes du rapport I/N varient de -12 dB à -6 dB, tandis que ceux exprimés en termes du rapport C/I vont de 12 dB à 20 dB. Des exemples de critères IPC spécifiés dans différentes Recommandations UIT-R sont énumérés dans le Tableau 4.3-1.

TABLEAU 4.3-1

**Exemples de critères de protection contre les brouillages figurant
dans les Recommandations UIT-R**

Type de service	Critère(s) de protection contre les brouillages	Référence
Service fixe – Autre que les brouillages causés par les radars	$I/N \leq -6$ dB	UIT-R F.1334
Service fixe – Brouillages causés par les radars (radars terrestres fixes ou transportables)	$I_{PK}/N \leq 0$ dB	UIT-R F.1190
Service fixe – Brouillages causés par les radars (radars mobiles maritimes et terrestres)	$I_{PK}/N \leq 10$ dB	UIT-R F.1190
Service fixe par satellite	I/N (source unique) ≤ -12 dB	UIT-R S.735, UIT-R S.1323, UIT-R S.1432
	$C/I \geq 27$ dB cumulatif (Régions 1 et 3)	Appendice 30A du Règlement des radiocommunications de l'UIT
	$C/I \geq 30$ dB source unique (Terre vers espace) $C/I \geq 26,65$ dB source unique (espace vers Terre) $C/I \geq 21$ dB (global, applicable aux liaisons de Terre montantes et descendantes)	Appendice 30B du Règlement des radiocommunications de l'UIT
Service de radiorepérage ($f = 2\,700$ - $2\,900$ MHz)	$I/N \leq -10$ dB	UIT-R M.1464
Service de radiorepérage (toutes les autres bandes)	$I/N \leq -6$ dB	UIT-R M.1461
Service de radiodiffusion par satellite	$C/I \geq 21$ dB cumulatif (Régions 1 et 3) $C/I \geq 28$ dB cumulatif (Région 2)	Appendice 30 du Règlement des radiocommunications de l'UIT
Service de radiodiffusion de Terre	$I \leq 1\%$ puissance totale de bruit à la réception (émissions sans attribution de fréquences correspondante) $I \leq 10\%$ puissance totale de bruit à la réception (émissions de services de radiocommunication pour lesquels il existe une attribution à titre primaire avec égalité des droits.	UIT-R BT.1895
Service mobile terrestre	$I \leq -117$ dBW cumulatif en intérieur $I \leq -119$ dBW cumulatif en extérieur	UIT-R M.687
Service mobile par satellite OSG	$I/N \leq -7$ dB cumulatif $I/N \leq -12$ dB source unique	UIT-R M.1183
Service mobile par satellite non OSG	$I \leq -142,1$ dBW cumulatif $I \leq -146,2$ dBW source unique, espace vers Terre $I \leq -147,3$ dBW source unique, de Terre	UIT-R M.1231 UIT-R M.1232
Service mobile aéronautique par satellite	$I/N \leq -7$ dB cumulatif $I/N \leq -12$ dB source unique	UIT-R M.1234

TABLEAU 4.3-1 (suite)

Type de service	Critère(s) de protection contre les brouillages	Référence
Service de recherche spatiale au voisinage de la Terre: espace vers Terre	$I \leq -216$ dB (W/Hz) pour 1 à 20 GHz Terre $I \leq -156$ dB (W/MHz) au-delà de 20 GHz Terre	UIT-R SA.609
Service de recherche spatiale au voisinage de la Terre: Terre vers espace	$I \leq -177$ dB (W/kHz)	UIT-R SA.609
Service de recherche spatiale dans l'espace lointain: espace vers Terre	$I \leq -222$ dB (W/Hz) dans les bandes au voisinage de 2 GHz $I \leq -221$ dB (W/Hz) dans les bandes au voisinage de 8 GHz $I \leq -220$ dB (W/Hz) dans les bandes au voisinage de 13 GHz $I \leq -217$ dB (W/Hz) dans les bandes au voisinage de 32 GHz	UIT-R SA.1157
Service de recherche spatiale dans l'espace lointain: Terre vers espace	$I \leq -193$ dB (W/20 Hz) dans les bandes au voisinage de 2 GHz $I \leq -190$ dB (W/20 Hz) dans les bandes au voisinage de 7 GHz $I \leq -186$ dB (W/20 Hz) dans les bandes au voisinage de 17 GHz $I \leq -183$ dB (W/20 Hz) dans les bandes au voisinage de 34 GHz	UIT-R SA.1157
Service de recherche spatiale dans les bandes des 37 GHz et des 40 GHz (liaisons Terre vers espace)	$I/N \leq -6$ dB	UIT-R SA.1396
Service de recherche spatiale dans les bandes des 37 GHz et des 40 GHz (liaisons Terre vers espace)	$I/N \leq 0$ dB	UIT-R SA.1396
Satellites de relais de données en dehors de la bande S	$I \leq -178$ dBW	UIT-R SA.1155
Satellites de relais de données dans la bande S	$I \leq -181$ dBW	UIT-R SA.1274
Systèmes d'exploitation spatiale, liaisons espace vers Terre	$I \leq -184$ dBW	UIT-R SA.363
Systèmes d'exploitation spatiale, liaisons Terre vers espace	$C/I \geq 20$ dB	

CHAPITRE 5

APPLICATION DES MODELES DE PROPAGATION ET DES METHODES DE PREVISION DE LA PROPAGATION DES RECOMMANDATIONS UIT-R DE LA SERIE P AUX ETUDES DE PARTAGE ET AUX EVALUATIONS DES BROUILLAGES

5.1 Introduction

Comme nous l'avons vu au cours des chapitres précédents, le choix d'un modèle de propagation applicable en vue d'une utilisation à des fins d'analyse technique se fonde sur les différents effets de propagation à prendre en considération sur un trajet de propagation donné. Ces modèles sont basés sur les Recommandations et les méthodes de prévision élaborées par la Commission d'études 3 de l'UIT-R. Le présent chapitre consiste en l'examen approfondi d'un choix de modèles de propagation spécifiques (voir le Chapitre 3 pour un bref guide des modèles de propagation), et décrit de manière détaillée chacun des modèles de propagation et des méthodes dont il est question dans le présent Manuel.

5.2 Recommandation UIT-R P.452

La Recommandation UIT-R P.452 décrit une méthode de prévision pour l'évaluation des brouillages hyperfréquences entre des stations situées à la surface de la Terre émettant à des fréquences comprises entre 0,7 GHz et 50 GHz. Le modèle se restreint au cas de deux stations situées à la surface de la Terre, qui communiquent le long d'un trajet de propagation point à point ou en visibilité directe. Les effets de propagation pris en compte dans la Recommandation UIT-R P.452 sont les mécanismes de propagation par temps clair et la diffusion par les hydrométéores. Les mécanismes de propagation par temps clair considérés dans la Recommandation UIT-R P.452 incluent la propagation en visibilité directe, la diffraction, la propagation par conduits et les affaiblissements dus aux obstacles. La méthode permet d'évaluer le champ produit au niveau d'un récepteur lorsqu'un signal radioélectrique se propage d'une station radioélectrique à l'autre, et ne fournit pas de méthode pour calculer les brouillages causés par ce signal radioélectrique. Cependant, il est possible de traiter les problèmes liés aux brouillages à l'aide de la Recommandation UIT-R P.452, dans les cas où le risque de brouillages concerne des stations de radiocommunication hyperfréquences situées à la surface de la Terre, en utilisant le champ calculé à l'aide du modèle et en procédant à une analyse élémentaire de la liaison radioélectrique, afin d'évaluer les effets des brouillages entre l'émetteur et le récepteur.

La méthode de la Recommandation UIT-R P.452 inclut en complément un jeu de modèles de propagation, qui permet de faire en sorte que tous les mécanismes de propagation importants susceptibles d'intervenir et de causer des brouillages soient pris en compte dans les prévisions. Pour utiliser cette méthode, il est nécessaire de disposer d'informations précises concernant la configuration du terrain le long du trajet entre l'émetteur et le récepteur, informations qui font partie des données d'entrée du modèle. En outre, la méthode prévoit un facteur de correction pour évaluer l'affaiblissement dû aux obstacles, à l'une ou aux deux extrémités du trajet, dans les cas où la configuration des obstacles est connue. La Recommandation inclut un modèle permettant de calculer un affaiblissement supplémentaire dû aux obstacles, dans les limites de 20 dB au-delà de 0,9 GHz, la valeur maximale calculable n'étant plus que de 5 dB à 0,1 GHz.

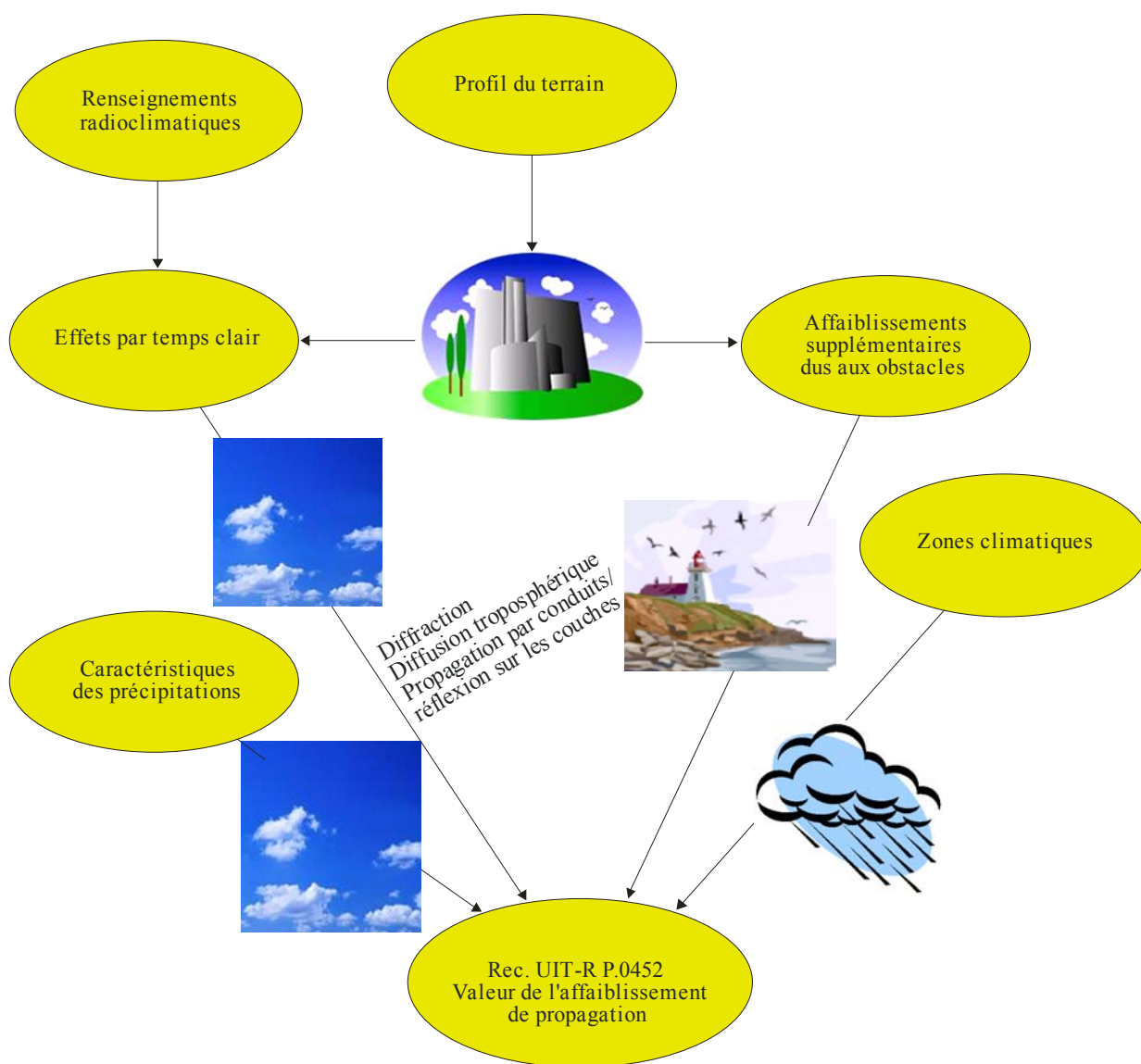
Les méthodes d'analyse des caractéristiques radiométéorologiques et topographiques du trajet qui permettent de déterminer la configuration du terrain le long du trajet et de prévoir l'encombrement par les obstacles, sont incluses dans le modèle, si bien qu'il est possible de procéder à des prévisions pour tout trajet concret d'une longueur maximale de 10 000 km, sur lequel ont lieu des brouillages et auquel s'applique la procédure. La procédure utilisée afin de calculer les effets météorologiques a été définie de deux manières totalement distinctes selon qu'il est question de prévoir les brouillages par temps clair ou les brouillages dus à la diffusion par les hydrométéores (nuages et pluie). La Recommandation UIT-R P.452, étant donné que la méthode qui y figure permet d'analyser de nombreux types et de nombreuses combinaisons de trajets sur lesquels ont lieu des brouillages, de procéder à une analyse détaillée du profil du terrain le long du trajet, et

de prévoir des affaiblissements supplémentaires dus aux obstacles, est une solution intéressante pour analyser les cas de brouillage entre deux stations situées à la surface de la Terre.

La Fig. 5.2 représente un aperçu des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.452.

FIGURE 5.2

Aperçu des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.452



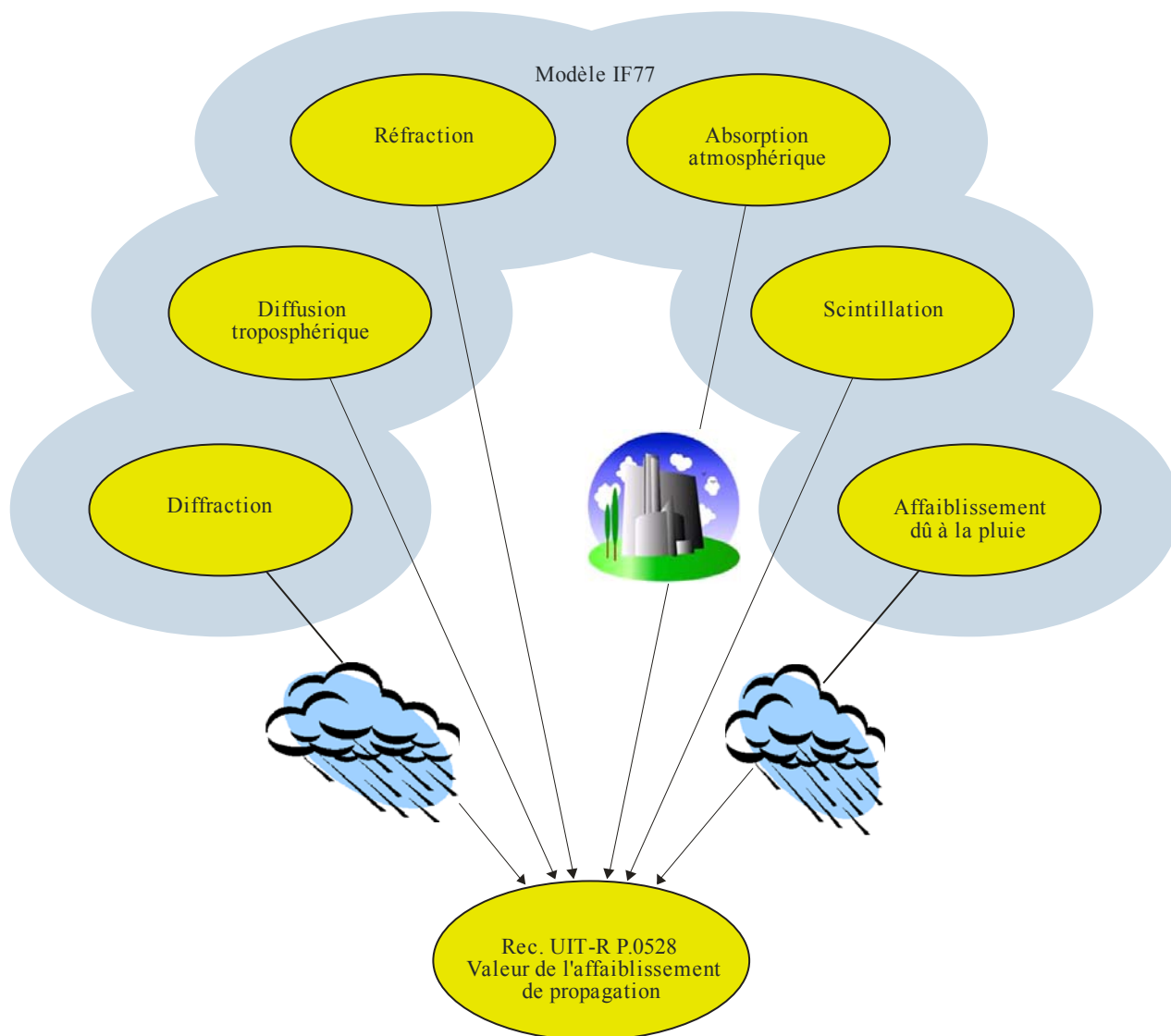
5.3 Recommandation UIT-R P.528

La Recommandation UIT-R P.528 comporte des jeux de courbes relatives aux valeurs médianes de l'affaiblissement de transmission de référence dans la gamme de fréquences 125 MHz-15,5 GHz, pour des hauteurs d'antenne correspondant notamment à celles qui sont utilisées dans les services aéronautiques et les services par satellite. La Recommandation UIT-R P.528 s'applique aux liaisons sol-air, air-air, sol-satellite et satellite-satellite. Les courbes figurant dans la Recommandation UIT-R P.528 sont générées à l'aide du modèle IF77, modèle semi-empirique conçu pour les liaisons aéronautiques. Cette Recommandation inclut également une méthode de calcul des distances de séparation entre des stations entre lesquelles ont lieu des brouillages. (La puissance émise et les gains des antennes d'émission et de réception de chacun des systèmes sont nécessaires à ce calcul.) Il est précisé dans la Recommandation que les données ayant servi au tracé de ces courbes correspondent à un climat continental tempéré, et qu'il convient de les utiliser avec précaution pour d'autres climats.

Les données d'entrée nécessaires à l'utilisation de la Recommandation sont les hauteurs des deux antennes, la fréquence, la distance et le pourcentage du temps. Les données sur le terrain ne sont pas nécessaires pour cette Recommandation.

L'intérêt de la Recommandation UIT-R P.528 est qu'elle permet de déterminer les valeurs médianes de l'affaiblissement de transmission de référence et les distances de séparation pour les liaisons aéronautiques et par satellite, sans qu'il soit nécessaire de disposer de données relatives au terrain.

FIGURE 5.3

Aperçu des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.528

PPM. 05.3

5.4 Recommandation UIT-R P.533

La Recommandation UIT-R P.533 fournit des méthodes de prévision des fréquences disponibles, des niveaux des signaux et de la fiabilité des systèmes de modulation analogique et numérique en ondes décimétriques. Il y est tenu compte non seulement du rapport signal/bruit, mais aussi des étalements temporels et fréquentiels prévus pour le canal. La procédure de prévision consiste à analyser le trajet des rayons pour des trajets dont la longueur n'excède pas 7 000 km, à appliquer des formules empiriques pour des modes composites obtenues par ajustement avec des données de mesure pour les trajets de longueur supérieure à 9 000 km, et à opérer une transition progressive entre ces deux approches pour les trajets dont la longueur varie de 7 000 km à 9 000 km.

Cette Recommandation permet de déterminer la valeur médiane mensuelle de la fréquence maximale utilisable de référence, le champ de l'onde ionosphérique incidente, et la puissance disponible à l'entrée d'un récepteur muni d'une antenne de réception sans perte de gain donné. La méthode prévoit une estimation des

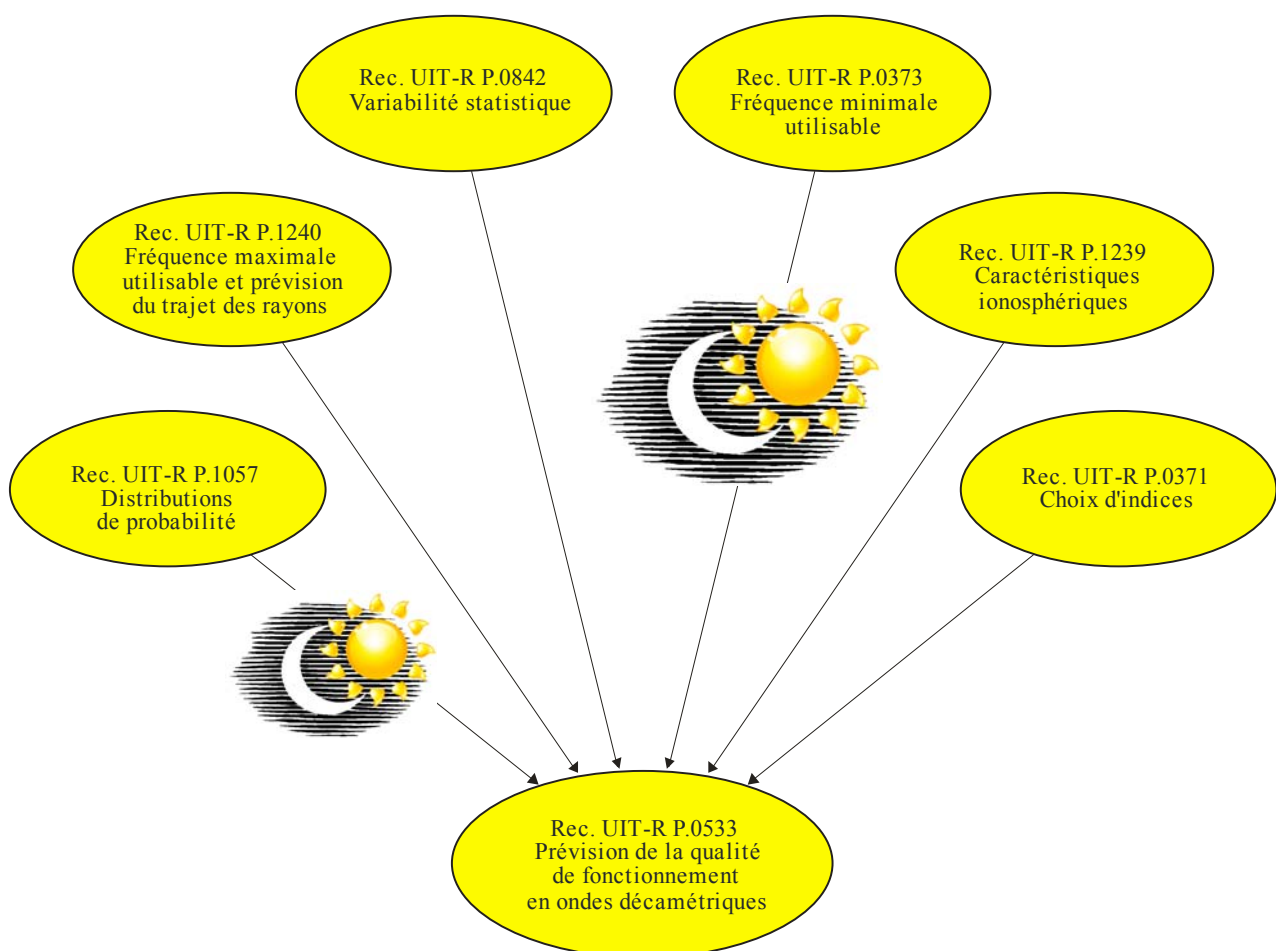
paramètres de la fonction de transfert des canaux, afin de prévoir la qualité de fonctionnement des systèmes numériques. Sont également fournies des méthodes d'évaluation de la fiabilité des circuits. Les intensités des signaux sont normalisées par rapport à une banque de données de mesures de l'UIT-R. Pour pouvoir mettre en oeuvre la méthode, il est nécessaire de déterminer un certain nombre de caractéristiques ionosphériques et de paramètres de propagation en des «points directeurs» précis.

Dans les régions équatoriales, il est possible que les résultats des prévisions subissent des distorsions le soir (heure locale), en raison d'instabilités locales de la structure de l'ionosphère dont il n'est pas entièrement tenu compte dans cette méthode.

La Fig. 5.4 représente un aperçu des mécanismes considérés dans la Recommandation UIT-R P.533.

FIGURE 5.4

Vue d'ensemble des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.533



PPM. 05.4

5.5 Recommandation UIT-R P.619

La Recommandation UIT-R P.619 porte sur l'évaluation des brouillages entre des stations à la surface de la Terre et des stations spatiales, entre des stations spatiales appartenant au même système, et entre des stations spatiales appartenant à des systèmes distincts. Cette Recommandation prend en compte quatre trajets de propagation possibles, résume les différentes conditions de propagation que l'on peut rencontrer sur ces trajets, et indique au lecteur quelle Recommandation consulter afin de calculer les effets de ces conditions. Les quatre trajets de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.619 sont les suivants:

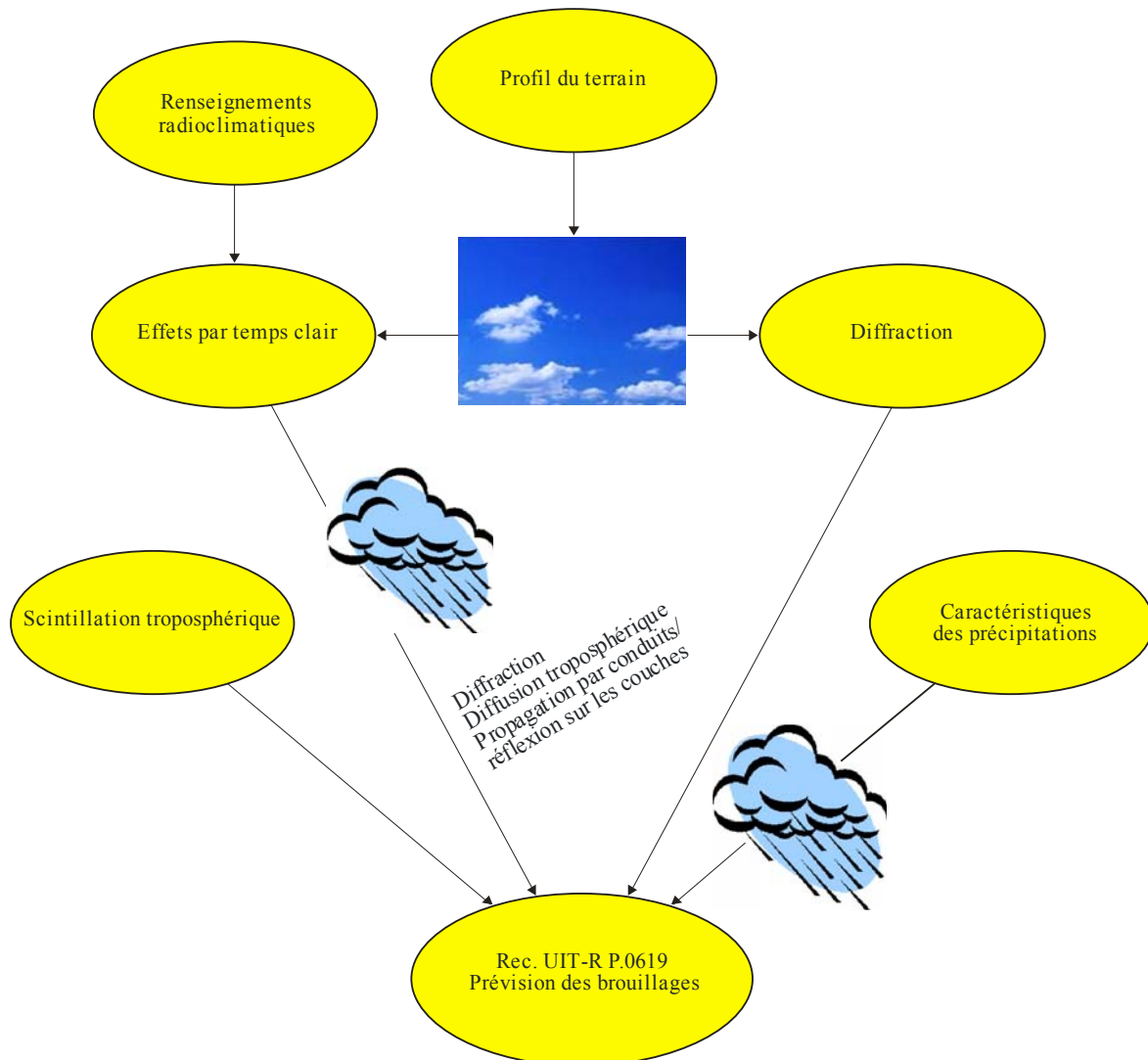
- émission d'une station spatiale d'un système spatial, brouillant la réception dans une station terrienne d'un autre système;
- émission d'une station terrienne d'un système spatial, brouillant la réception dans une station spatiale d'un autre système;
- émission d'une station spatiale, brouillant la réception dans une station de Terre;
- émission d'une station de Terre, brouillant la réception dans une station spatiale.

Les trois principaux mécanismes de propagation considérés dans cette Recommandation sont la propagation par temps clair, la diffusion par les précipitations, et l'affaiblissement différentiel sur les trajets Terre vers espace adjacents. Contrairement aux autres Recommandations de la Série P dont il est question dans le présent Manuel, cette Recommandation ne fournit pas explicitement au lecteur une méthode étape par étape pour calculer les brouillages, ni même l'affaiblissement de propagation, entre des stations. L'intérêt de la Recommandation UIT-R P.619 est de renseigner le lecteur sur les effets de propagation qui entrent en jeu et de lui indiquer les Recommandations UIT-R de la Série P correspondantes, en vue de la détermination du mécanisme de propagation approprié et de l'évaluation concrète des brouillages entre des stations de Terre et des stations spatiales, sur la base d'autres Recommandations UIT-R.

Comme indiqué précédemment, la Recommandation UIT-R P.619 ne présente pas explicitement de solution étape par étape à un problème de brouillage, mais oriente le lecteur vers les Recommandations UIT-R qu'il convient d'utiliser pour calculer les conditions de propagation le long d'un trajet donné. C'est pourquoi il serait difficile de fournir dans le cadre du présent Manuel un scénario de partage illustrant les nombreuses applications de la Recommandation UIT-R P.619, et il ne sera pas donné de tel scénario.

La Fig. 5.5 représente un aperçu des mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.619.

FIGURE 5.5

Aperçu des mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.619

PPM. 05.5

5.6 Recommandation UIT-R P.620

La Recommandation UIT-R P.620 décrit une méthode d'évaluation des mécanismes de propagation qui entrent en jeu dans la détermination des distances de coordination. Dans cette méthode, la détermination de la distance de coordination est basée sur le calcul d'un affaiblissement de transmission minimal requis, résultant de mécanismes de propagation, entre une station terrienne et des stations de Terre. La distance de coordination correspond ainsi à l'affaiblissement de propagation égal à l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible requis, qui ne doit pas être dépassé pendant un pourcentage de temps annuel donné. La méthode de la Recommandation UIT-R P.620 fournit une solution étape par étape pour calculer la distance de coordination sur la base d'un affaiblissement de propagation minimal requis.

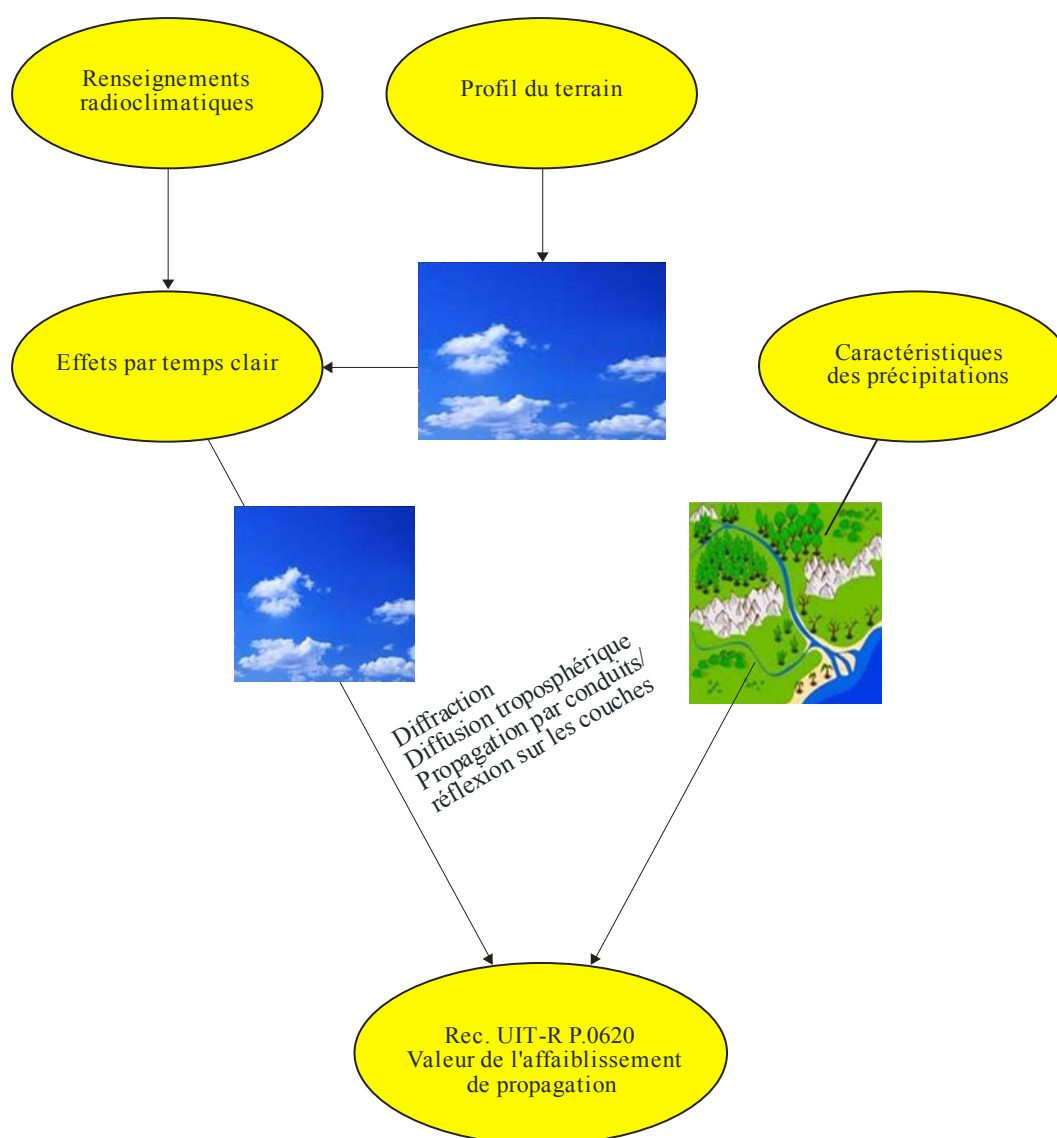
La Recommandation permet de déterminer les distances de coordination en calculant de manière itérative l'affaiblissement de propagation lié à des mécanismes de propagation, jusqu'à ce que l'on obtienne l'affaiblissement de propagation requis ou que l'on atteigne une distance limite. Les mécanismes de propagation utilisés dans cette méthode sont classés en deux modes: la propagation par temps clair et la diffusion par les hydrométéores. La propagation par temps clair inclut les mécanismes de propagation

suivants: diffraction, réfraction, propagation par conduits, diffusion troposphérique, et réflexion sur les couches. Le mode de propagation de diffusion par les hydrométéores se limite aux stations terriennes fonctionnant avec des satellites géostationnaires. L'utilisation de cette méthode requiert une connaissance élémentaire des caractéristiques du terrain dans la direction pour laquelle on souhaite procéder à une coordination. L'intérêt de la Recommandation UIT-R P.620 est de calculer des distances de coordination lorsque l'on connaît l'emplacement d'une station terrienne et les informations relatives à cette station, mais pas les emplacements des stations de Terre avec lesquelles on souhaite procéder à une coordination.

La Fig. 5.6 représente un aperçu des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.620.

FIGURE 5.6

Aperçu des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.620



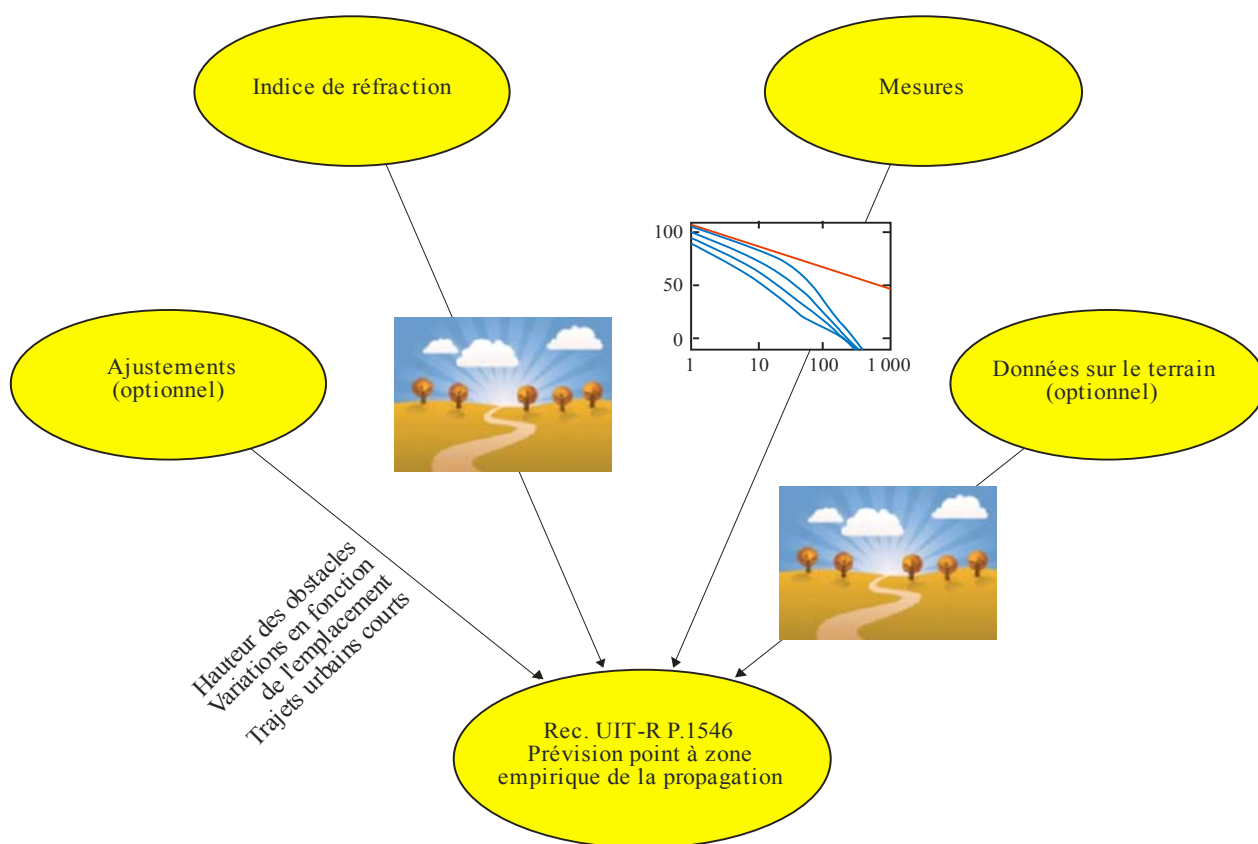
5.7 Recommandation UIT-R P.1546

La Recommandation UIT-R P.1546 décrit une méthode de prévision point à zone de la propagation des ondes radioélectriques pour les services de Terre fonctionnant dans la gamme de fréquences 30 MHz-3 000 MHz. Son utilisation concerne les circuits radioélectriques fonctionnant le long de trajets terrestres, maritimes et/ou mixtes terrestres-maritimes, pour une longueur de trajet comprise entre 1 et 1 000 km et une hauteur équivalente de l'antenne d'émission inférieure à 3 000 m. La Recommandation consiste en un jeu de courbes de champ calculées en fonction de la distance, de la hauteur d'antenne, de la fréquence, et du pourcentage du temps. Ces courbes sont basées sur des données de mesure relevées en mer du Nord et en mer Méditerranée. Les données sur les trajets terrestres proviennent de mesures effectuées en Europe et en Amérique du Nord. Les valeurs figurant sur les courbes correspondent à une puissance apparente rayonnée de 1 kW. Viennent ensuite des instructions concernant la manière d'interpoler ces courbes afin d'obtenir des valeurs de champ pour toute fréquence, hauteur d'antenne ou type de trajet requis donnés.

Les courbes figurant dans cette Recommandation sont basées sur des données de mesure relevées dans des régions climatiques tempérées, au cours de périodes fixes, et à l'aide de critères prédéfinis sur les antennes d'émission et de réception. La Recommandation fournit à l'utilisateur une méthode d'interpolation lui permettant d'adapter les courbes de propagation aux conditions de propagation qui l'intéressent. Étant donné que la méthode est basée sur des courbes de propagation générées à l'aide de données de mesure, elle tient compte des données sur les obstacles. Cependant, étant donné que ces données ont été relevées dans des conditions de propagation fixes au cours de la période de mesure, toutes les conditions de propagation et toutes les conditions exactes au niveau des antennes d'émission et de réception n'ont pas pu être prises en compte dans l'analyse de la propagation. L'utilité de la Recommandation UIT-R P.1546 est de fournir des prévisions rapides de l'affaiblissement de propagation pour un scénario point à zone, sur la base de données de mesures réelles.

La Fig. 5.7 représente un aperçu des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.1546.

FIGURE 5.7

Aperçu des mécanismes de propagation pris en compte dans la Recommandation UIT-R P.1546

PPM. 05.7

5.8 Recommandation UIT-R P.1812

La Recommandation UIT-R P.1812 décrit une méthode de prévision de la propagation applicable aux services de Terre point à point ou point à zone dans la gamme de fréquences 30 MHz-3GHz, qui consiste à évaluer dans le détail les dépassements de certains niveaux du signal pendant un pourcentage de temps donné, p , ($1\% \leq p \leq 50\%$), et pour un pourcentage d'emplacement donné, p_L , ($1\% \leq p_L \leq 99\%$). Cette méthode repose également sur l'analyse du profil du terrain le long du trajet. Elle peut être utilisée afin de prévoir la zone de service et la disponibilité pour un certain niveau du signal utile (couverture), ainsi que les restrictions de la zone de service et de la disponibilité dues à la présence de signaux brouilleurs dans le même canal ou dans les canaux adjacents.

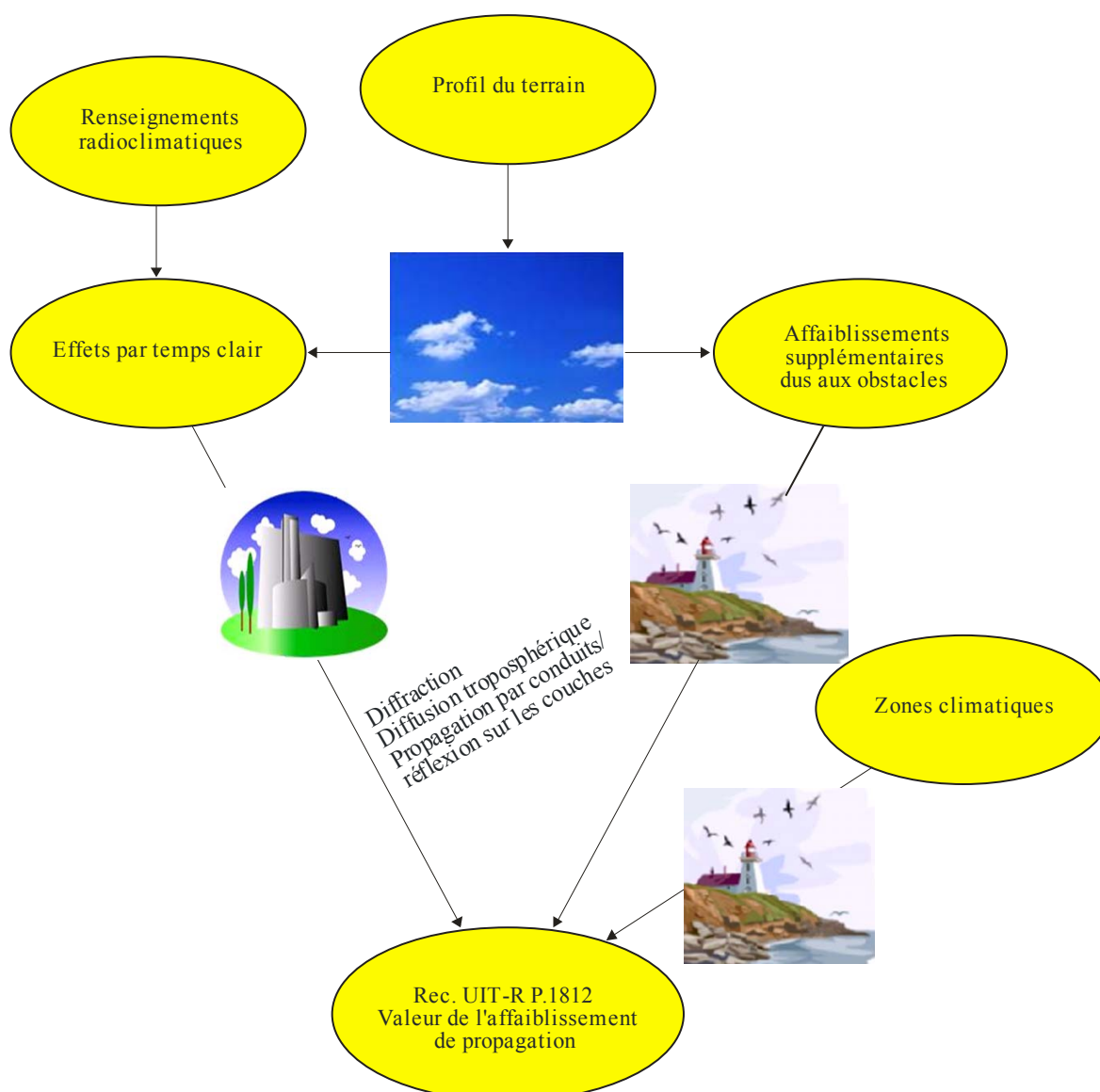
Dans un premier temps, la description de la méthode porte sur le calcul de l'affaiblissement de transmission de référence (dB) non dépassé pendant $p\%$ du temps pour la valeur médiane des emplacements. La variabilité d'emplacement et l'affaiblissement de pénétration dans les bâtiments sont ensuite caractérisés de manière statistique en fonction des emplacements des récepteurs. Vient ensuite une procédure de conversion du champ électrique (dB ($\mu\text{V/m}$)) pour une puissance apparente rayonnée de 1 kW.

La présente méthode concerne essentiellement les systèmes utilisant des antennes à faible gain. Toutefois, en cas d'utilisation d'antennes à gain élevé, le seul paramètre de la méthode pour lequel il y a perte de précision est la diffusion troposphérique, et encore cette perte est minime. Par exemple, même avec un gain d'antenne de 40 dBi aux deux extrémités de la liaison, la surestimation du niveau d'un signal se propageant par diffusion troposphérique ne sera que de 1 dB environ.

La méthode de prévision de la propagation décrite dans cette Recommandation est fondée sur le trajet. Les prévisions point à zone obtenues à l'aide de cette méthode consistent en des séries de nombreuses prévisions point à point (c'est-à-dire point-émetteur à multipoint-récepteur), uniformément réparties sur des zones de service théoriques. Le nombre de points doit être suffisamment important pour faire en sorte que les valeurs prévues des affaiblissements de transmission de référence ou des champs ainsi obtenues soient des estimations raisonnables des valeurs médianes, en termes d'emplacement, des quantités correspondantes pour les zones élémentaires qu'elles représentent.

La Fig. 5.8 représente un aperçu des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.1812.

FIGURE 5.8

Aperçu des différents mécanismes de propagation considérés dans la Recommandation UIT-R P.1812

CHAPITRE 6

SCENARIOS DE PARTAGE REPRESENTATIFS POUR LES METHODES ET LES MODELES DES RECOMMANDATIONS UIT-R DE LA SERIE P

Le présent chapitre vise à fournir un cadre général et un contexte d'utilisation des modèles de propagation et des méthodes de prévision de la propagation dont il est question dans le présent Manuel, à travers la présentation de scénarios de partage qu'il est possible d'analyser au moyen de ces méthodes et de ces modèles. Certains des scénarios de partage figurant dans cette section sont issus de l'étude de l'historique des échanges qui ont eu lieu par notes de liaison entre la Commission d'études 3 et d'autres commissions d'études. S'il a été constaté qu'un échange de notes de liaison se rapportait à un modèle de propagation particulier, le fil des notes de liaisons successives a été repéré et le scénario de partage concerné identifié. Les études de partage qui font l'objet du présent chapitre sont des exemples d'utilisation représentatifs des modèles évoqués dans le présent Manuel.

On trouvera dans l'Appendice B un tableau informatif sur les échanges de notes de liaison entre la Commission d'études 3 et d'autres Commissions d'études de l'UIT-R. Ces notes de liaison permettent de saisir le contexte dans lequel est apparu le besoin du présent Manuel, dont l'objet est d'aider les Commissions d'études concernées à utiliser les modèles des Recommandations UIT-R de la Série P pour les études de partage et les évaluations des brouillages.

6.1 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.452

Scénario de partage entre une station du service de recherche spatiale et des microstations terriennes

Considérations générales

Des progrès ont été accomplis récemment en vue de créer une nouvelle station du service de recherche spatiale aux fins de la communication avec le réseau à satellite TDRSS. L'emplacement de cette nouvelle station terrienne sera situé à moins de 50 km d'une grande zone urbaine. De récentes propositions visant à créer des microstations terriennes à proximité immédiate de la nouvelle station du service de recherche spatiale ont suscité de vives préoccupations, en raison des brouillages qui pourraient en résulter pour cette dernière.

En vertu des règles de la FCC (partie 47, § 25.222(d)), une coordination est requise pour l'exploitation de stations situées à moins de 125 km des stations terriennes du réseau à satellite TDRSS. Les exploitants des différentes microstations terriennes se sont inquiétés du fait qu'une distance de séparation de 125 km nuirait considérablement au fonctionnement des microstations terriennes, en particulier au voisinage de la station terrienne du service de recherche spatiale, située à environ 50 km d'une grande zone urbaine qui représente un marché potentiellement important pour les exploitants de stations ESV et VMES. Le problème de coordination consistait à déterminer la distance de séparation minimale admissible entre la station du service de recherche spatiale et une microstation terrienne.

Motifs d'utilisation de la Recommandation UIT-R P.452

La Recommandation UIT-R P.452 a été choisie parce qu'il s'agissait d'un modèle bien adapté à l'étude des liaisons de Terre entre une microstation terrienne et une station terrienne du service de recherche spatiale. En outre, la Recommandation UIT-R P.452 se prêtait bien à la modélisation des différentes conditions de propagation requises pour le cas de la station terrienne du service de recherche spatiale, telles que les critères sur le terrain et le pourcentage du temps.

*Hypothèses relatives au scénario de coordination***Gamme de fréquences**

Réseau à satellite TDRSS dans la bande 13,4-14,05 GHz et liaisons montantes du SFS dans la bande 14,0-14,5 GHz.

Paramètres de réception pour la station du service de recherche spatiale

Paramètre	Valeur
Emplacement	38,409, -77,107
Hauteur de l'antenne de réception	11,35 m
Diamètre de l'antenne de réception	16,5 m
Gain de crête de l'antenne de réception	65 dB
Diagramme de l'antenne de réception	UIT RR APS8
Satellite opérationnel du réseau TDRSS	TDRS 12 W
Fréquence	14,0 GHz
Critères de brouillage à l'intérieur de la bande (Rec. UIT-R SA.1155)	-146 dB (W/MHz)
Critères sur le pourcentage du temps (Rec. UIT-R SA.1155)	0,1%

Hypothèses sur les microstations terriennes fixes brouilleuses

Paramètre	Valeur
Emplacement	38,863, -77,067
Hauteur de l'antenne d'émission	2,5 m
Gain de l'antenne de réception	0 dB
Densité de p.i.r.e. émise par un seul terminal	12,5 dB (W/MHz)
Fréquence	14,0 GHz

Hypothèses de modélisation

- La hauteur du terrain aux alentours de la station terrienne du service de recherche spatiale n'étant pas homogène, il convient de tenir compte du terrain comme facteur de modélisation.
- Les effets d'affaiblissement par diffraction et d'affaiblissement le long du trajet doivent être pris en compte dans la modélisation.
- Brouillages pendant 0,1% du temps.

6.2 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.528*Considérations générales*

Le présent scénario est basé sur le calcul de l'affaiblissement de transmission le long d'un trajet représentatif des émissions du service mobile aéronautique. Le calcul de l'affaiblissement de transmission peut être utilisé pour différents calculs de partage concernant les émissions d'une station du service mobile aéronautique en direction d'une station au sol.

Motifs du choix de la Recommandation UIT-R P.528

La Recommandation UIT-R P.528 a été choisie pour le présent exemple de scénario de partage parce qu'il concernait les émissions du service mobile aéronautique.

Paramètre de la station du service mobile aéronautique

Paramètre	Valeur
Fréquence	5 100 MHz
Hauteur de l'antenne de la station du service mobile aéronautique	10 000 m
Hauteur de l'antenne de la station au sol	15 m
Pourcentage du temps	50%
Longueur du trajet	800 km

6.3 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.533**Scénario représentatif de la prévision de la propagation le long d'un trajet point à point***Considérations générales*

Le présent scénario concerne la prévision de la propagation le long d'un trajet point à point représentatif entre une liaison utile et une liaison brouilleuse. La liaison utile a lieu entre le récepteur brouillé et l'émetteur brouillé, la liaison brouilleuse entre le récepteur brouillé et l'émetteur brouilleur. L'objectif est de prévoir les effets de la présence de la liaison brouilleuse sur la qualité de fonctionnement du récepteur subissant les brouillages en termes de rapport signal/bruit.

Motifs du choix de la Recommandation UIT-R P.533

La Recommandation UIT-R P.533 a été choisie pour le présent scénario en raison des gammes de fréquences concernées.

*Hypothèses du scénario de coordination***Paramètres du récepteur brouillé**

Emplacement	49,88 N 119,48 O
Largeur de bande	7 kHz
Fréquence centrale	10,125 MHz
Antenne	Yagi horizontale (type 34 ITS-78)
Relèvement d'antenne	120° dans le sens horaire par rapport au Nord
SSN	51
Valeur du rapport signal/bruit pour une fiabilité de 50%	15 dB

Paramètres de l'émetteur

Emplacement	45,52 N 73,57 O
Largeur de bande	7 kHz
Fréquence centrale	10,125 MHz
Antenne	Yagi horizontale (type 34 ITS-78)
Relèvement d'antenne	295,0° dans le sens horaire par rapport au Nord
Puissance d'émission	1 kW

Paramètres de l'émetteur brouilleur

Emplacement	42,97 N 85,67 O
Largeur de bande	7 kHz
Fréquence centrale	10,125 MHz
Antenne	Réseau de réflecteurs apériodiques multibande (type 01)
Relèvement d'antenne	178,5° dans le sens horaire par rapport au Nord
Puissance d'émission	1 kW

6.4 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.620*Considérations générales*

Le présent scénario porte sur le calcul d'une zone de coordination pour une station terrienne fixe dans la bande des 450 MHz, dans le cas de brouillages causés par un émetteur mobile.

Motifs de l'utilisation de la Recommandation UIT-R P.620

La Recommandation UIT-R P.620 a été choisie pour le présent scénario parce qu'elle décrit le processus de calcul de la distance de coordination.

*Hypothèses du scénario de coordination***Hypothèses sur la station terrienne**

Paramètre	Valeur
Emplacement	39,26; -80,11
Fréquence	450 MHz
Seuil de brouillage (I/N)	-10 dB
Puissance de bruit de la station terrienne	-162,58 dB
Gain à la réception de la station terrienne	14,3
Pourcentage du temps	50%

Hypothèses sur l'émetteur mobile brouilleur

Paramètre	Valeur
p.i.r.e.	16,98 dBW
Fréquence	2 200 MHz

6.5 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.1546

Considérations générales

La communauté des radioastronomes est confrontée au problème des brouillages provenant des bandes adjacentes. Les distances de coordination concernant les observatoires de radioastronomie font l'objet d'une protection scrupuleuse, afin que les récepteurs de ces derniers, qui sont d'une grande sensibilité, ne soient pas pollués par des stations terriennes fonctionnant dans les bandes adjacentes.

La bande 608-614 MHz est assignée à la communauté des radioastronomes. La bande adjacente 470-608 MHz est attribuée à des services de radiodiffusion. Aux Etats-Unis et dans d'autres administrations, cette bande est assignée à la télédiffusion numérique. Les émetteurs de télédiffusion ont des p.i.r.e. élevées. Le présent scénario porte sur les distances de coordination et les risques de brouillages entre ces deux bandes.

Le Groupe de travail 7D de l'UIT-R a soumis au Groupe de travail 3M un scénario de coordination/brouillages à 608 MHz, entre un récepteur de radioastronomie victime de brouillages, situé à l'Observatoire national de radioastronomie (NRAO) des Etats-Unis, dans une zone de silence radioélectrique, et une station de télédiffusion numérique d'une puissance apparente rayonnée (p.a.r.) de 1 MW.

Le Groupe de travail 7D a noté qu'aux termes de l'Article 29 du Règlement des radiocommunications de l'UIT, les récepteurs de radioastronomie présentent une «sensibilité exceptionnellement élevée» et que, s'agissant des services fonctionnant dans les bandes adjacentes, «les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables conformément au numéro 4.5¹».

Hypothèses du scénario de brouillage

- Fréquence: 605 MHz
- Emetteur: p.a.r. 1 MW, largeur de bande 6 MHz, hauteur d'antenne 165 m
- Emplacement de l'émetteur: 38° 57' 22" N 77° 4' 59" O 105 m AMSL
- Récepteur: hauteur d'antenne 139,6 m
- Emplacement du récepteur: 38° 25' 59,2" N 79° 50' 23,4" O 806 m AMSL
- Réception dans le lobe latéral à 0 dBi du radiotélescope
- Pourcentage requis: 2% du temps

6.6 Exemple de scénario de partage pour la Recommandation UIT-R P.1812

Scénario de partage entre une station terrienne fixe et une station mobile des services hertziens évolués

Considérations générales

Les brouillages causés par le fonctionnement de services hertziens évolués (AWS) à une station terrienne fixe fédérale dans la bande 1 710-1 755 MHz ont fait l'objet de vives préoccupations.

Conformément aux règles d'adjudication de la Federal Communications Commission (FCC) des Etats-Unis, les exploitants de services AWS sont autorisés à les mettre en oeuvre au cours de la période de transition dévolue aux opérations du gouvernement fédéral, pourvu qu'ils ne causent pas de brouillages préjudiciables aux stations terriennes fédérales. Afin d'atténuer les brouillages, il a été nécessaire de créer des zones de coordination et des contours d'exploitation autour des stations terriennes concernées.

Raisons du choix de la Recommandation UIT-R P.1812

¹ Article 4.5 du RR de l'UIT: «La fréquence assignée à une station d'un service donné doit être suffisamment éloignée des limites de la bande attribuée à ce service, de telle sorte que, compte tenu de la bande de fréquences assignée à la station, des brouillages préjudiciables ne soient pas causés aux services auxquels sont attribuées les bandes adjacentes.» Cet article, qui concerne les bandes adjacentes, est souvent invoqué dans les contributions de la radioastronomie.

La Recommandation UIT-R P.1812 a été choisie pour le présent scénario parce que les emplacements des terminaux d'émission et de réception sont tous deux connus, que l'on peut déterminer les données sur le terrain entre ces deux terminaux, et que les spécifications de la hauteur des terminaux correspondent aux paramètres de la Recommandation UIT-R P.1812.

Hypothèses du scénario de coordination

Gamme de fréquences

1 710-1 755 MHz

Paramètres de la station terrienne de réception

Paramètre	Valeur
Emplacement	29,56 N, 95,09 O
Fréquence	1741,0 MHz
Largeur de bande	12 MHz
HAAT	6 m
Gain de l'antenne de réception	34 dBi
Diamètre de l'antenne de réception	---
Température de bruit du système	300 K antenne +5 dB facteur de bruit du récepteur
Critère de brouillage (au flasque d'antenne)	-109,0 dBm (~10 dB en dessous du bruit)

Hypothèses sur la station terrienne mobile brouilleuse des services AWS

Paramètre	Valeur
Densité des terminaux mobiles actifs	16/secteur (données de l'exploitant)
Fréquence	1 710-1 755 MHz
Largeur de bande	1,25 MHz
HAAT	1,5 m (données de l'exploitant)
p.i.r.e. émise (à l'intérieur la bande)	-6,3 dBW (données de l'exploitant)
p.i.r.e. émise (hors bande)	-43,0 dBW/MHz (Règles de la FCC)

Hypothèses de modélisation

- Etant donné que la hauteur du terrain dans la zone située autour de la station terrienne n'est pas homogène, le terrain doit être pris en compte comme facteur de modélisation des brouillages.
- Les effets de diffraction et d'affaiblissement le long du trajet doivent être pris en compte dans la modélisation.
- Fiabilité 10%, confiance 50%.

APPENDICE A

Exemples de calcul

ANNEXE A1
de l'Appendice A

Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.452

Pour une description du scénario correspondant aux présents exemples de calcul et des hypothèses qui y sont faites, se reporter au § 6.1.

Exemple résolu de partage

Les calculs initiaux visant à déterminer une distance de coordination sont menés à l'aide de la feuille de calcul de la Recommandation UIT-R P.452-14, telle qu'elle figure sur le site web de la Commission d'études 3 de l'UIT-R (<http://www.UIT.int/UIT-R/index.asp?category=documents&rlink=rsg3&lang=en>) au moment de l'élaboration du présent Manuel. Les étapes qui interviennent dans les calculs de coordination initiaux sont décrites ci-après et, au besoin, des captures d'écran sont fournies dans la mesure du possible. Toutes les données d'entrée des calculs décrits dans la Recommandation UIT-R P.452-14 sont basées sur les paramètres des stations fournis plus haut.

D'autres mises en oeuvre logicielles de la Recommandation UIT-R P.452 peuvent nécessiter des paramètres d'entrée supplémentaires. Pour obtenir des informations sur d'autres paramètres par défaut non pris en considération dans la présente section, se reporter au texte de la Recommandation UIT-R P.452.

Etape 1: Paramètres d'entrée de l'utilisateur

Step 1: Input data
The basic input data required for the procedure is given in Table 1. All other information required is derived from these basic data during the execution of the procedure.

TABLE 1
Basic input data

	Parameter	User input	Preferred resolution	Description
OK	f	14	0.01	Frequency (GHz)
OK	p	0.1	0.001	Required time percentage(s) for which the calculated basic transmission loss is not exceeded (%)
OK	ϕ_t	38.563	0.001	Latitude of transmitting (interfering) station (degrees)
OK	ψ_t	-77.067	0.001	Longitude of transmitting (interfering) station (degrees)
OK	ϕ_r	38.409	0.001	Latitude of receiving (interfered-with) station (degrees)
OK	ψ_r	-77.109	0.001	Longitude of receiving (interfered-with) station (degrees)
	$h_{t\pm g}$	2.5	1	Transmitting antenna centre height above ground level (m)
	$h_{r\pm g}$	11.35	1	Receiving antenna centre height above ground level (m)
	G_t	0	0.1	Transmitting antenna gain in the direction of the horizon along the great-circle interference path (dBi)
	G_r	65	0.1	Receiving antenna gain in the direction of the horizon along the great-circle interference path (dBi)

NOTE 1 – For the interfering and interfered-with stations:
t : interferer r : interfered-with station

NOTE 2 – For latitudes and Longitudes
Positive latitudes indicate North / Positive longitudes indicate East

Proceed to Step 2 =>

Légende du Tableau 1

Etape 1: Données d'entrée

Les données d'entrée de base nécessaires à la mise en oeuvre de la procédure sont décrites dans le Tableau 1. Toutes les autres informations nécessaires sont déduites de ces données de base au cours de l'exécution de la procédure.

TABLEAU 1 - Données d'entrée de base

Paramètre	Données d'entrée de l'utilisateur	Résolution privilégiée	Description
Fréquence (GHz)			
Pourcentage(s) de temps requis pendant lequel l'affaiblissement de propagation de référence calculé n'est pas dépassé (%)			
Latitude de la station d'émission (brouilleuse) (degrés)			
Longitude de la station d'émission (brouilleuse) (degrés)			
Latitude de station de réception (brouillée) (degrés)			
Longitude de la station de réception (brouillée) (degrés)			
Hauteur du centre de l'antenne d'émission au-dessus du sol (m)			
Hauteur du centre de l'antenne de réception au-dessus du sol (m)			
Gain de l'antenne d'émission dans la direction de l'horizon pour un trajet de brouillage le long du grand cercle (dBi)			
Gain de l'antenne de réception dans la direction de l'horizon pour un trajet de brouillage le long du grand cercle (dBi)			
NOTE 1 –	Pour la station brouilleuse et la station brouillée:		
	t: station brouilleuse	r: station brouillée	
NOTE 2 –	Pour les latitudes et les longitudes:		
	Les latitudes positives sont boréales (nord) / Les longitudes positives sont orientales (est).		

Passer à l'étape 2**Etape 2: Choix de l'année moyenne ou du mois le plus défavorable**

Le choix des prévisions pour une année moyenne ou pour le «mois le plus défavorable» est généralement déterminé par les objectifs de qualité (c'est-à-dire la qualité de service et la disponibilité) du système radioélectrique victime de brouillages à l'extrémité de réception du trajet sur lequel ont lieu des brouillages. Dans la majorité des cas, les objectifs de qualité sont définis en termes d'un pourcentage «d'un mois quelconque» et il est donc nécessaire d'utiliser les données relatives au mois le plus défavorable.

Pour notre exemple de brouillages causés à une station terrienne du service de recherche spatiale, nous choisirons une prévision pour le mois le plus défavorable. La raison de ce choix est que nous nous intéressons au cas de brouillage le plus défavorable possible à un moment donné quelconque. Ce cas de brouillage le plus défavorable peut ensuite être utilisé afin de décider des conditions de coordination dans un scénario de brouillage correspondant au cas le plus défavorable.

Etape 3: Entrée des données radiométéorologiques

Deux paramètres radiométéorologiques sont utilisés dans la procédure de prévision de la Recommandation UIT-R P.452-14 pour décrire la variabilité des conditions de propagation normales et anormales à différents endroits du monde. Ces deux paramètres sont:

- ΔN (unités N/km) – fournit les données permettant de calculer le rayon équivalent de la Terre à utiliser pour l'analyse du profil de trajet et des obstacles à l'origine de la diffraction. Voir les Fig. 11 et 12 de la Rec. UIT-R P.452-14, ou le tableau correspondant à la Fig. 12 dans la mise en oeuvre sur Excel de la Recommandation UIT-R P-452-14 utilisée pour ces calculs.
- N_0 – coindice de réfraction au niveau de la mer, est utilisé uniquement dans le modèle de diffusion troposphérique, comme mesure de la variation du mécanisme de diffusion troposphérique en fonction de l'emplacement. Voir la Fig. 13 de la Rec. UIT-R P.452-14, ou le tableau correspondant à la Fig. 13 dans la mise en oeuvre sur Excel de la Recommandation UIT-R P-452-14 utilisée pour ces calculs.

Dans l'exemple de scénario considéré ici, les valeurs de ΔN et N_0 étaient respectivement 60 et 330.

Etape 3,5: Distance des stations d'émission et de réception à la ligne côtière.

Ce calcul n'est nécessaire que si une ou plusieurs sections du trajet sont au-dessus de l'eau. Ces distances servent à calculer un facteur de correction qui permet d'harmoniser les calculs de l'affaiblissement de propagation anormal le long des trajets terrestres et des trajets maritimes. Les valeurs exactes de ce calcul ne sont importantes que si les distances sont inférieures ou égales à 5 km. Si, dans un cas ou dans les deux, les distances sont de toute évidence supérieures à 5 km, alors il suffit d'entrer une grande valeur (500 km, par exemple) dans la mise en oeuvre sur Excel de la Recommandation UIT-R P.452-14. En fait, il n'est nécessaire de consacrer du temps à ce calcul que pour un petit nombre de trajets. Les paramètres calculés lors de cette étape sont les suivants:

- d_{ct} – Distance terrestre entre l'antenne d'émission et la ligne côtière le long du trajet de brouillage.
- d_{cr} – Distance terrestre entre l'antenne de réception à la ligne côtière le long du trajet de brouillage.

Etant donné que, dans notre exemple de scénario, les stations d'émission et de réception se trouvent toutes les deux à plus de 500 km de la ligne côtière, la valeur d'entrée dans la mise en oeuvre sur Excel de la Recommandation UIT-R P.452 sera fixée à 500.

Etape 4: Analyse du profil du trajet

Une analyse initiale du profil du trajet est nécessaire afin de déterminer les valeurs d'un certain nombre de paramètres liés au trajet qui sont requis pour les calculs. Les informations obtenues à partir du profil du trajet incluent les affaiblissements par temps clair, les affaiblissements dus aux gaz atmosphériques, les affaiblissements par diffraction, la diffusion troposphérique, la propagation par conduits et la réflexion sur les couches, et les affaiblissements supplémentaires dus à des groupes d'obstacles.

La mise en oeuvre sur Excel utilisée actuellement pour effectuer ces calculs permet de calculer informatiquement les paramètres précédents, sur la base des équations figurant dans la Recommandation UIT-R P.452-14. Les données d'entrée requises pour la mise en oeuvre sur Excel incluent des points séparés par une distance précise le long du trajet entre l'émetteur brouilleur et le récepteur, la hauteur du terrain en ces points, et le type de zone radioclimatique correspondant à ces points. Les zones radioclimatiques sont les suivantes:

- A1 – Zones côtières et littorales, c'est-à-dire terres adjacentes à la mer jusqu'à une altitude de 100 m par rapport au niveau moyen de la mer ou des eaux, mais limitée à une distance de 50 km à partir de l'étendue maritime la plus proche.
- A2 – Toutes les terres, autres que les zones côtières et littorales définies ci-dessus
- A3 – Mers, océans et autres vastes étendues d'eau.

De nombreuses sources permettent d'obtenir des informations sur le profil du terrain (mais aucune d'entre elles ne correspond à une méthode privilégiée par la Commission d'études 3). Dans le cadre du présent exemple de scénario, le type de terrain sera A2. (La capture d'écran suivante donne un aperçu des données d'entrée sur le profil du terrain pour la feuille de calcul Excel servant à la mise en oeuvre de notre exemple de scénario.)

Distance (km)	Height (m)	Zone
0.0000	39.80	A2
0.0900	41.55	A2
0.1800	42.23	A2
0.2700	41.84	A2
0.3600	40.94	A2
0.4500	38.42	A2
0.5400	35.10	A2
0.6300	36.46	A2
0.7200	35.65	A2
0.8100	39.48	A2
0.9000	43.59	A2
0.9900	42.58	A2
1.0800	45.36	A2
1.1700	47.51	A2
1.2600	46.43	A2
1.3500	43.26	A2
1.4400	45.74	A2
1.5300	36.90	A2
1.6200	22.34	A2
1.7100	14.89	A2
1.8000	10.03	A2
1.8900	8.24	A2
1.9800	6.55	A2
2.0700	4.61	A2
2.1600	4.67	A2
2.2500	5.70	A2
2.3400	8.69	A2
2.4300	12.32	A2
2.5200	15.98	A2
2.6100	21.55	A2
2.7000	26.31	A2
2.7900	26.53	A2
2.8800	32.40	A2

Légende:

Distance (km)

Hauteur (m)

Zone

Etape 5: Calcul de l'affaiblissement le long du trajet à partir des paramètres d'entrée

YOU ARE READY!:

Depending on the size of the terrain profile and path type (Line of sight vs. trans-horizon), this may take a few moments to execute.

Calculate <= Click to "Calculate."

181.5 dB Overall Propagation Loss, $L_b(p)$, from the interfering transmitter to the interfered-with receiver.

Note 1: Several additional, interim calculations of the path profile and path type are provided in columns E, F & G Rows 12 through 33 on the 'TEST_PROFILE' worksheet.

Note 2: Different assumptions in path profiles analyses will produce small variations (± 0.5 dB) with other software implementations of Rec. P.452-13. These do not necessarily indicate errors in implementation.

Légende:

VOUS ÊTES PRÊTS !

En fonction de la taille des données sur le profil du terrain et le type de trajet (en visibilité directe ou transhorizon), le calcul peut prendre du temps.

Calculer Cliquer pour «calculer».

Affaiblissement de propagation global, $L_b(p)$, de l'émetteur brouilleur au récepteur brouillé.

Note 1: Plusieurs calculs intermédiaires supplémentaires concernant le profil et le type de trajet sont fournis aux colonnes E, F et G, lignes 12 à 33, sur la feuille de calcul 'TEST_PROFILE'.

Note 2: L'utilisation d'hypothèses différentes pour les analyses des profils de trajet dans d'autres mises en oeuvre logicielles de la Rec. P.452-13 se traduiront par de légères variations ($\pm 0,5$ dB). Celles-ci ne résultent pas nécessairement d'erreurs dans la mise en oeuvre.

Analyse de la coordination

D'après le résultat du modèle de propagation de la Recommandation UIT-R P-452-14, l'affaiblissement de propagation global le long du trajet entre l'émetteur brouilleur et le récepteur brouillé était de 183,2 dB pendant 0,1% du temps. Le calcul de cet affaiblissement de propagation tient compte de tous les effets de propagation le long de la liaison point à point entre les deux. Nous savons qu'ils sont séparés par une distance de 50,5 km. A l'aide d'une simple analyse du bilan de liaison, nous pouvons déterminer si cette distance est suffisante pour respecter le niveau de -146 dBW/MHz prescrit pour la coordination. Afin de simplifier les calculs, nous supposons que la largeur de bande est de 1 MHz, de sorte que le niveau de puissance maximal admissible pour la coordination est de -146 dBW pendant 0,1% du temps. L'analyse du bilan de liaison figure dans le tableau suivant:

p.i.r.e.	12,5 dBW
G_r	65 dBi
L_p (d'après la Rec. UIT-R P.452-14)	183,2
P_r	-106 dBW

Ainsi, le niveau de puissance brouilleuse reçue à l'entrée de la station terrienne du service de recherche spatiale victime des brouillages est supérieur au critère fourni dans la Recommandation UIT-R SA.1155 pour une distance de 50,5 km. Il est possible de recommencer la procédure précédente pour une distance plus grande, jusqu'à en trouver une pour laquelle le critère de -146 dBW de puissance brouilleuse reçue à l'entrée de la station terrienne du service de recherche spatiale n'est pas dépassé. Une fois qu'une telle distance a été trouvée, elle peut servir de distance de coordination de base. De manière analogue, on peut appliquer à plusieurs reprises la méthode de la Recommandation UIT-R P.452-14 pour différentes positions angulaires à partir de la station du service de recherche spatiale victime des brouillages, afin de déterminer un contour de coordination pour une nouvelle microstation terrienne.

ANNEXE A2 de l'Appendice A

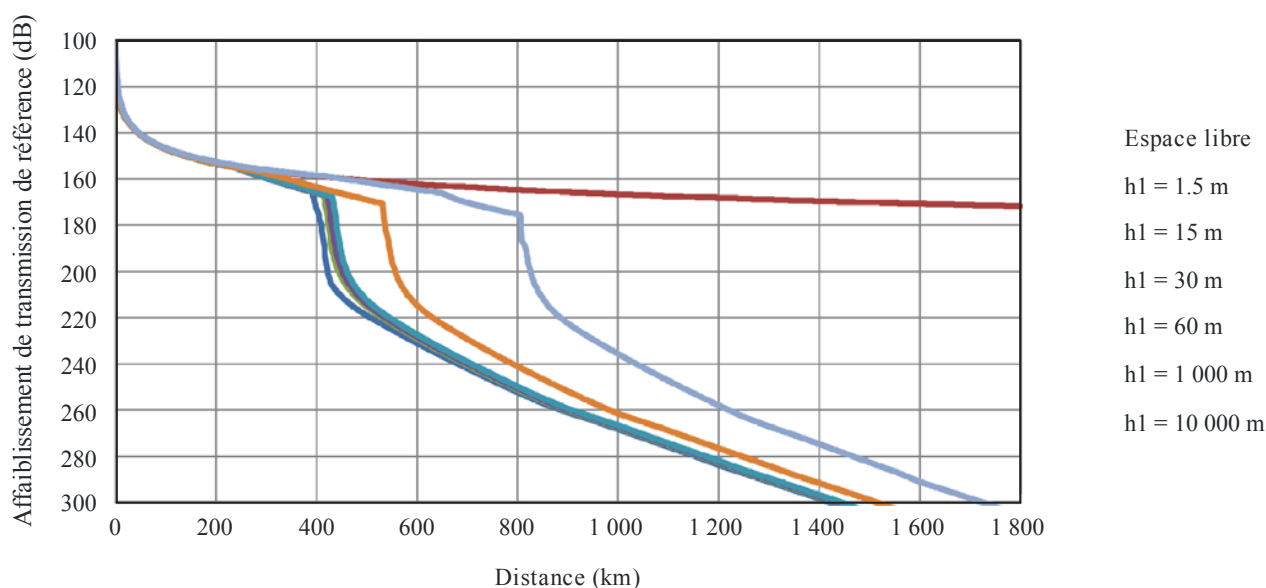
Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.528

Pour une description du scénario correspondant aux présents exemples de calcul et des hypothèses qui y sont faites, se reporter au § 6.2.

Pour déterminer l'affaiblissement de propagation d'un émetteur du service mobile aéronautique fonctionnant à 5 100 MHz, il est possible d'utiliser la Fig. A2-1 (b) de la Recommandation UIT-R P.528-3. D'après le code de couleur pour les hauteurs d'antenne qui se trouve à droite de la Figure, la courbe d'affaiblissement le long du trajet à utiliser pour notre exemple d'analyse est celle qui correspond à $h_1 = 15$ m. En se reportant à la Fig. A2-1 (b), on constate que, pour une distance de trajet de 800 km, l'affaiblissement le long du trajet sur la courbe correspondant à $h_1 = 15$ m est de 250 dB. On peut alors utiliser cette valeur de l'affaiblissement le long du trajet autant de fois que nécessaire aux fins de l'analyse des brouillages et de la coordination.

FIGURE A2-1

**Jeu de courbes pour l'affaiblissement de transmission de référence à 5 100 MHz
pour 50% du temps pour différentes valeurs de h_1**



PPM. A02-01

ANNEXE A3 de l'Appendice A

Exemples de calculs pour la Recommandation UIT-R P.533

Le présent scénario comprend une liaison utile et une liaison brouilleuse. La liaison utile a lieu entre le récepteur brouillé et l'émetteur brouillé, la liaison brouilleuse entre le récepteur brouillé et l'émetteur brouilleur. Le programme utilisé pour mener les analyses décrites ici est REC533, une mise en oeuvre de la Recommandation UIT-R P.533. Il convient d'entrer dans le programme des paramètres appropriés, qui correspondent aux hypothèses sur chaque liaison.

La liaison utile comporte un émetteur d'une puissance de 1 kW et une antenne directive à gain élevé pointée dans la direction du récepteur brouillé. Il s'agit d'une antenne Yagi horizontale (type 34 ITS-78) d'un gain de directivité de 13,4 dBi. L'émetteur de la liaison brouilleuse, d'une puissance de 1 kW, fonctionne au moyen d'un réseau de réflecteurs apériodiques multibande d'un gain de directivité de 22,1 dBi. La liaison brouilleuse est également pointée en direction du récepteur victime. Ces hypothèses visent à illustrer le cas du scénario le plus défavorable.

Les deux liaisons de communication fonctionnent à 10,125 MHz avec une largeur de bande de 7 kHz. Dans l'exemple considéré, on suppose que l'environnement de bruit au niveau du récepteur brouillé est de type rural, conformément à la définition qui en est donnée dans la Recommandation UIT-R P.372. Les liaisons de communication ont lieu uniquement à 12:00 UTC, restriction temporelle qui était nécessaire pour simplifier l'exemple. En règle générale, dans le cadre d'une analyse de circuits fonctionnant en ondes décadrétiques, de nombreux paramètres temporels sont susceptibles de modifier sensiblement les prévisions. En particulier, l'heure et le mois ont une incidence sur les calculs, étant donné qu'ils déterminent l'état des paramètres ionosphériques intervenant dans le modèle. L'analyse a été menée uniquement pour les mois de nombre impair. Le nombre de tâches solaires a été fixé à 51. Tous les autres paramètres nécessaires à l'exécution du programme REC533 ont été laissés à leur valeur par défaut. Toutes les variables de sortie du modèle sont basées sur des valeurs médianes mensuelles du canal de propagation. Pour une explication détaillée du fonctionnement du programme REC533, se reporter à la documentation pertinente.

Dans le présent scénario, le récepteur brouillé est situé à Kelowna (Colombie-Britannique, Canada), et reçoit un signal émis depuis Montréal (Canada, Québec). Les brouillages proviennent d'un émetteur se trouvant à Grands Rapids (États-Unis, Michigan). L'obtention d'une fiabilité de signal de 50% requiert un rapport signal/bruit d'au moins 15 dB à l'entrée du récepteur brouillé. L'émetteur brouilleur et le récepteur brouillé fonctionnent dans le même canal.

Dans le cadre de cette analyse, le programme REC533 a été utilisé pour déterminer la puissance des signaux à l'entrée du récepteur brouillé en provenance de chacun des émetteurs. Le Tableau A3-1 contient les valeurs médianes de la puissance du signal utile à l'entrée du récepteur brouillé.

TABLEAU A3-1

Puissance du signal, rapport signal/bruit (S/N) et bruit au niveau du récepteur brouillé pour la liaison utile

Mois	Puissance reçue (dBW)	Rapport S/N 50% (dB)	Valeur approximative du bruit (dB)
Janvier	11	16	5
Mars	17	22	5
Mai	21	26	5
Juillet	16	19	3
Septembre	24	29	5
Novembre	13	18	5

Une analyse similaire a été menée entre le récepteur brouillé et l'émetteur brouilleur, et fait l'objet du Tableau A3-2.

TABLEAU A3-2

Valeurs médianes de la puissance du signal reçu et fréquence maximale utilisable au niveau du récepteur brouillé pour la liaison brouilleuse

Mois	Puissance reçue (dBW)	Fréquence maximale utilisable (MHz)
Janvier	-16	6,8
Mars	-7	8,6
Mai	5	12,0
Juillet	2	12,0
Septembre	-3	12,0
Novembre	-13	7,2

Les résultats du programme REC533 pour la liaison brouilleuse montrent que les perturbations causées par l'émetteur brouilleur ne seront pas les mêmes tout au long de l'année. D'après les valeurs de la fréquence maximale utilisable (MUF) figurant dans le Tableau 2, la probabilité de propagation du signal émis à une fréquence de 10,125 MHz est faible de la fin de l'automne au début du printemps, et c'est de la fin du printemps au début de l'automne que les risques de brouillage sont les plus élevés. Une des caractéristiques spécifiques de la propagation en ondes décimétriques est que l'ionosphère ne permet pas d'utiliser toutes les fréquences de la bande en permanence. Il existe une fréquence maximale utilisable au-delà de laquelle les signaux émis dans le canal de propagation en ondes décimétriques ne sont pas réfléchis et renvoyés en direction de la Terre. Par conséquent, les signaux d'une fréquence supérieure à la fréquence maximale utilisable traversent l'ionosphère.

D'après le Tableau A3-2, si l'on se place dans le scénario qui correspond au cas le plus défavorable pour le présent calcul, il convient de se baser sur une valeur de puissance brouilleuse médiane de 5 dBW.

Compte tenu du critère selon lequel le rapport S/N doit être d'au moins 15 dB pour que la fiabilité du signal reçu soit d'au moins 50%, nous pouvons évaluer les perturbations causées par l'émetteur brouilleur à la liaison utile. Si l'on suppose que le bruit sur la liaison utile est de 5 dB, et que la puissance brouilleuse reçue est de 5 dB, alors la puissance du signal brouilleur augmentera d'un facteur deux. La puissance totale de bruit et de brouillage sera alors 3 dB au-dessus de la puissance de bruit, soit égale à 8 dB. Une augmentation de la puissance totale de bruit et de brouillage entraînera une diminution du rapport S/N sur la liaison utile pour les mois de mai, juillet et septembre, où il vaudra respectivement 23, 16 et 26. Par conséquent, en présence de

l'émetteur brouilleur, le rapport S/N sur la liaison utile sera proche du niveau minimal requis de 15 dB. En cas de variations de la propagation, il est donc possible que la qualité de fonctionnement souhaitée ne soit pas atteinte. Etant donné que les résultats de ce modèle sont basés sur des valeurs médianes mensuelles, il est inévitable que de telles variations aient lieu.

Le présent exemple a permis de mettre en évidence une vulnérabilité du système utile aux brouillages, qui aura des incidences sur la qualité de fonctionnement de la liaison. Le calcul effectué a permis d'illustrer l'utilité des logiciels basés sur les modèles de l'UIT pour l'étude de communications complexes qui requièrent l'utilisation en partage des ressources du spectre.

ANNEXE A4 de l'Appendice A

Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.620

Pour une description du scénario correspondant aux présents exemples de calcul et des hypothèses qui y sont faites, se reporter au § 6.4.

Paramètres d'entrée de l'utilisateur

Les paramètres d'entrée de l'utilisateur nécessaires à la mise en oeuvre de la Recommandation UIT-R P.620-6 concernent la fréquence, l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible, la latitude et la longitude de la station terrienne pour laquelle on cherche à déterminer un contour de coordination, la distance de coordination minimale et la distance de coordination maximale. La fréquence utilisée pour l'analyse ainsi que l'emplacement de la station terrienne sont indiqués dans les tableaux du § 6.4. L'affaiblissement de transmission minimal admissible peut se calculer au moyen d'un simple bilan de liaison, sur la base des informations disponibles sur les critères de protection de la station terrienne et les paramètres de l'émetteur brouilleur.

p.i.r.e. de l'émetteur brouilleur	16,98 dBW
G_r	14,3 dBi
Affaiblissement le long du trajet (P_L)	Inconnu
Puissance de bruit (P_n)	-162,58

Par conséquent, la puissance reçue en provenance de l'émetteur brouilleur à l'entrée de la station terrienne que nous cherchons à protéger est:

$$P_r = 16,98 + 14,3 - P_L$$

La valeur du rapport I/N à l'entrée de la station terrienne est:

$$I/N = P_r - P_n$$

$$I/N = 16,98 + 14,3 - P_L - (-162,58)$$

Etant donné que le seuil requis pour le rapport I/N est -10:

$$-10 = 16,98 + 14,3 - P_L - (-162,58)$$

D'où l'on déduit l'affaiblissement minimal admissible le long du trajet (P_L):

$$P_L = 203,86$$

Conformément aux étapes décrites au § 2 de l'Appendice 2 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.620-6, le calcul de la distance de coordination sera basé sur un processus itératif consistant à répéter le calcul de l'affaiblissement le long du trajet jusqu'à ce que soit trouvée une distance pour laquelle cet affaiblissement dépasse le seuil de 203,86 calculé précédemment.

Le calcul des distances de coordination minimale et maximale s'effectue à l'aide des équations (15) à (18) de la Recommandation UIT-R P.620-6. La distance utilisée dans les calculs itératifs augmente par incréments de 1 km. Les calculs itératifs de l'affaiblissement le long du trajet sont ensuite effectués à l'aide de l'équation (16) de la Recommandation UIT-R P.620-6, en partant de la distance de coordination minimale obtenue par le calcul et en procédant par incréments de 1 km.

Dans le présent exemple de scénario, la distance de coordination obtenue à l'aide des calculs itératifs est de 511 km. Il est possible d'entrer cette valeur dans un logiciel de cartographie afin de générer des contours de coordination pour un scénario de brouillage particulier. La Fig. A4-1 ci-dessous représente un exemple de de contour de coordination obtenu de cette façon.

FIGURE A4-1

Exemple de contour de coordination calculé à l'aide de la Recommandation UIT-R P.620-6

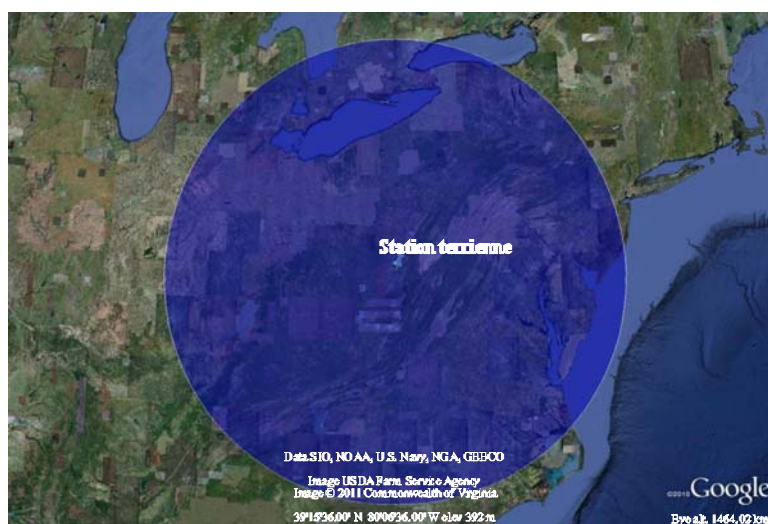


Figure A4-1

ANNEXE A5 de l'Appendice A

Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.1546

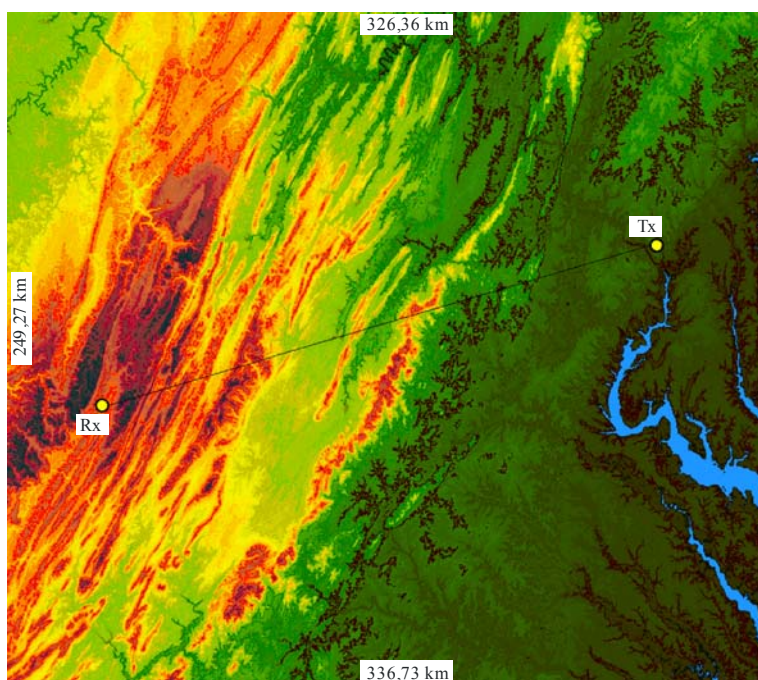
Pour une description du scénario correspondant aux présents exemples de calcul et des hypothèses qui y sont faites, se reporter au § 6.5.

Le circuit troposphérique entre l'émetteur de télédiffusion numérique (potentiellement) brouilleur et le radiotélescope brouillé est un trajet entièrement terrestre, puisqu'il n'y a pas de vaste étendue d'eau sur la liaison considérée. La longueur du trajet est d'environ 246 km. La hauteur équivalente de l'émetteur est estimée à 182,36 m.

La Fig. A5-1 représente une carte de la zone considérée, avec les emplacements de l'émetteur (Tx) de radiodiffusion et du NRAO (emplacement de réception, Rx).

FIGURE A5-1

Carte de la zone considérée

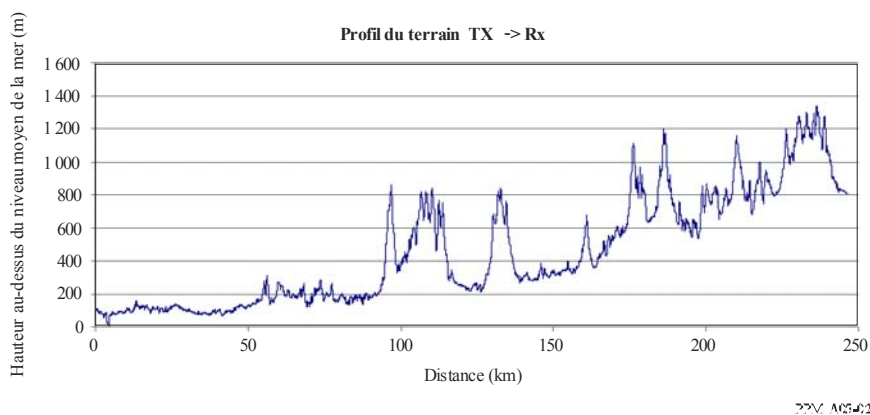


22/01/2015 09:00

La Fig. A5-2 représente un profil du terrain entre l'émetteur et le NRAO, obtenu sur la base des données topographiques numériques (données SRTM-3).

FIGURE A5-2

Profil du terrain entre l'émetteur et le récepteur (NRAO)



L'interpolation des courbes de propagation représentant les valeurs du champ aux fréquences de 600 MHz et 2 000 MHz (1% et 10% du temps) conduit à une prévision de $-4,07$ dB ($\mu\text{V/m}$) pour la puissance du signal brouilleur correspondant à une p.a.r. de 1 kW. La correction liée à la hauteur de l'antenne de réception et la correction liée à l'angle de dégagement du terrain sont respectivement de 23,41 dB et $-12,68$ dB. Enfin, on procède un ajustement de 30 dB afin de tenir compte de la puissance de l'émetteur (1 MW), de sorte que la puissance du signal brouilleur est au total de 36,66 dB ($\mu\text{V/m}$).

La Fig. A5-3 représente les prévisions du champ le long du trajet de propagation en direction de l'antenne de réception, pour une hauteur d'antenne de 139,6 m au-dessus du sol et 2% du temps. La Fig. A5-4 représente des prévisions similaires pour l'ensemble de la zone considérée, mais ces calculs correspondent à une hauteur de l'antenne de réception de 10 m.

FIGURE A5-3

Prévisions du champ le long de l'arc du grand cercle entre l'émetteur et le récepteur pour 2% du temps et une hauteur du récepteur de 139,6 m

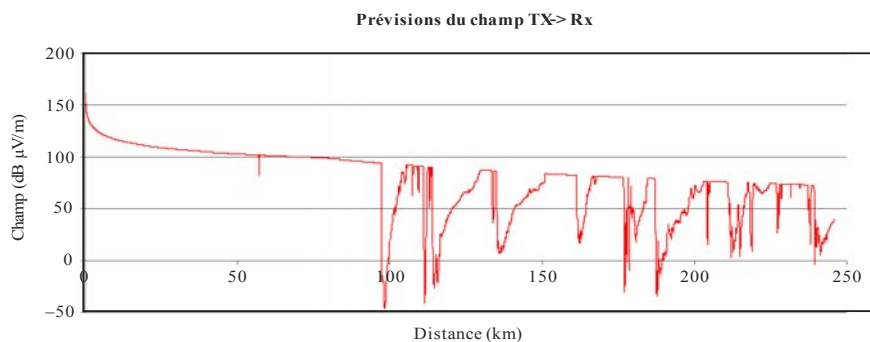
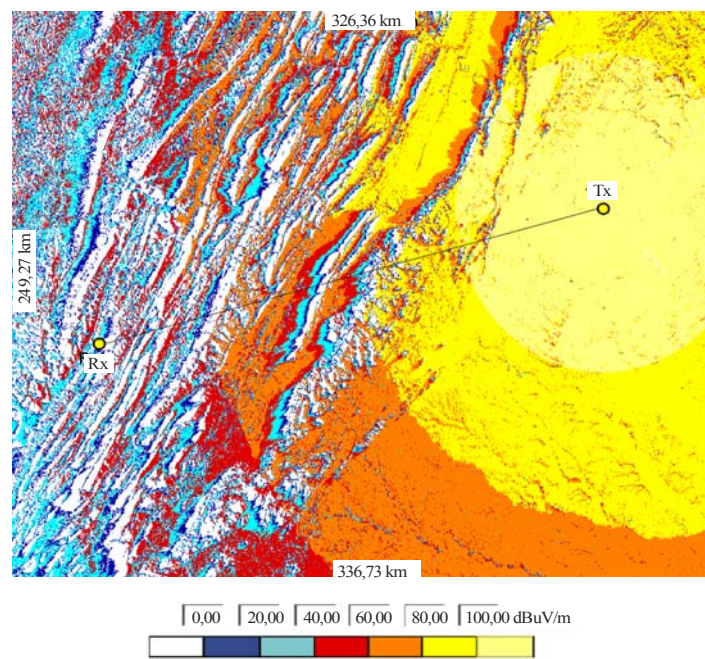


FIGURE A5-4

Prévisions du champ dans la zone représentée sur la Fig. A5-1 pour 2% du temps et une hauteur d'antenne de réception de 10 m



22/01/2014

ANNEXE A6 de l'Appendice A

Exemples de calcul pour la Recommandation UIT-R P.1812

Pour une description du scénario correspondant aux présents exemples de calcul et des hypothèses qui y sont faites, se reporter au § 6.6.

Sachant que le niveau de brouillage requis à la réception était de -109 dBm, des calculs de l'affaiblissement de transmission de référence ont été effectués à l'aide de la méthode de la Recommandation UIT-R P.1812-1, compte tenu du profil du terrain le long du trajet du grand cercle entre l'emplacement du service de recherche spatiale et la position de coordonnées (30°N , 94°O) (aire urbaine de Beaumont-Port-Arthur, Texas, Etats-Unis), à une fréquence de $1\,741$ MHz. Les calculs ont été effectués pour des valeurs correspondant à 10% du temps (le pourcentage de temps pendant lequel le signal brouilleur pouvait être présent) et 50% du temps, à des intervalles de 100 m le long du trajet d'une longueur de 115 km environ. Les résultats sont représentés sur les Fig. A6-1 et A6-2. Si l'on considère des brouillages à l'intérieur de la bande, alors l'affaiblissement de transmission de référence doit être supérieur à $109 + 34 + 23,7 = 166,7$ dB, ce qui se produit à une distance de 90 km pour 10% du temps si l'on utilise ce profil. La distance de séparation requise est beaucoup plus petite dans le cas des valeurs correspondant à 50% du temps, mais ce niveau de brouillage serait probablement intolérable. Dans le cas d'émissions brouilleuses hors bande, l'affaiblissement de transmission de référence requis n'est que de $124,7$ dB, ce qui correspond à une distance de séparation de $5,2$ km.

FIGURE A6-1

Prévisions de l'affaiblissement de transmission pour 10% du temps

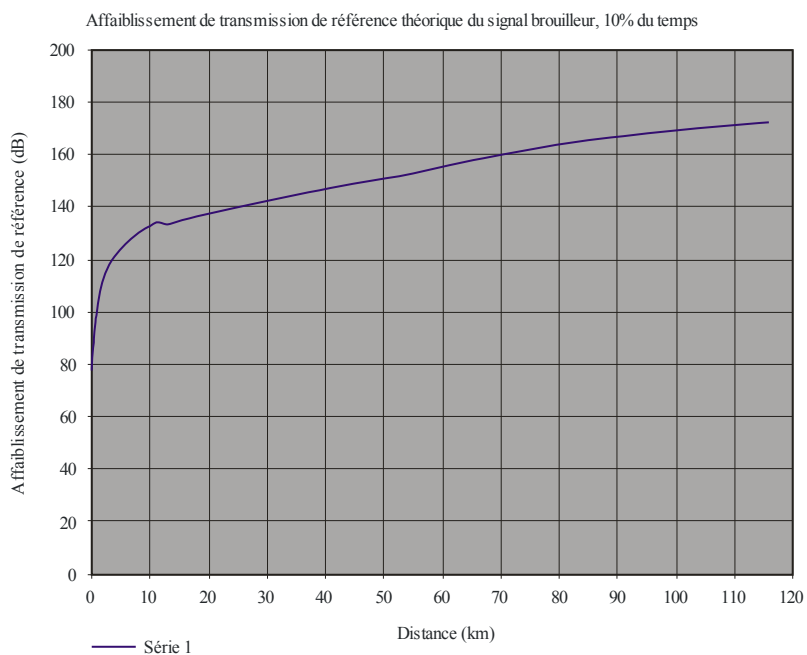
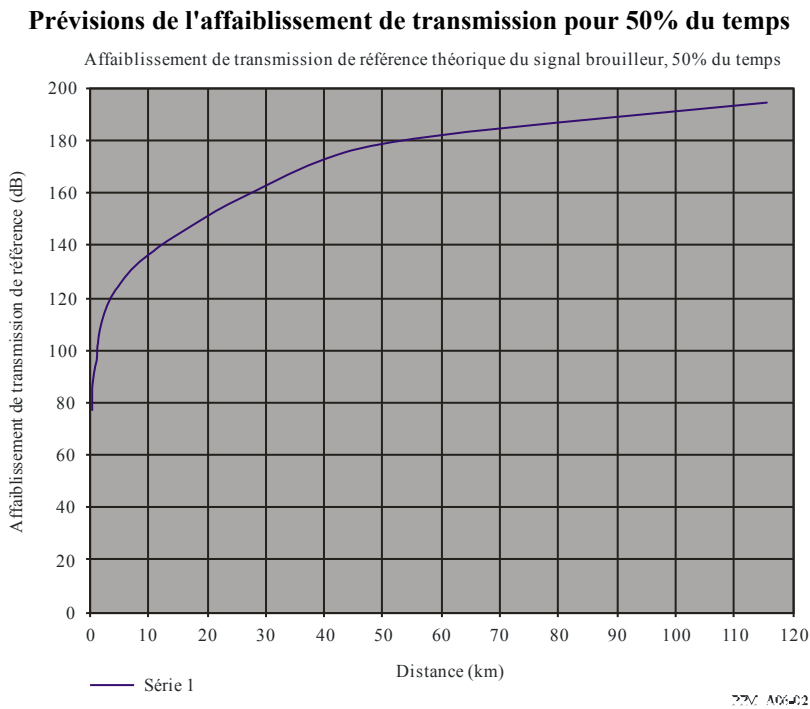


FIG. A6-1

FIGURE A6-2



APPENDICE B

Références

TABLEAU B-1

Vue d'ensemble des notes de liaison pertinentes à l'intention de la Commission d'études 3

Note de liaison (LS)	Période d'études	Origine	Document(s) pertinent(s)	Enoncé du problème	Gamme de fréquences
3M/42	2000-2003	GT 8A	Rec. UIT-R P.452, Rec. UIT-R P.1411	Le Groupe de travail 8A souhaite effectuer des tests sur les méthodes de prévision point à zone pour les services de Terre. Le GT 8A n'est pas sûr que suffisamment de tests aient été menés afin de vérifier si les modèles de propagation étaient adéquats. Il est souhaitable de clarifier les comparaisons entre un nouveau modèle de propagation (non listé) et les Recommandations UIT-R P.452 et UIT-R P.1411.	30-3 000 MHz
3M/43	2000-2003	GT 9A	Rec. UIT-R P.530	Examen de plusieurs Recommandations et travaux du GT 3M et du GT 9A sur l'utilisation de l'Appendice 30 dans le cadre de l'application de la Recommandation UIT-R P.620.	Sans objet
3M/86	2000-2003	GT 6S	Comparaison entre l'Appendice 7 et l'Appendice 30 pour le mode de propagation (2)	Applicabilité du modèle de propagation de l'Appendice 7 pour la coordination entre des stations de Terre ou des stations terriennes d'émission du SFS et des stations terriennes du SRS.	
3M/87 3J/59 3K/63	2000-2003	GT 8F	Question UIT-R 229/8	Note de liaison à l'intention des Groupes de travail 3J, 3K et 3M sur les questions de propagation pour les systèmes postérieurs aux IMT-2000, visant à la mise en place d'une initiative de l'UIT sur les modèles de propagation pour les systèmes cellulaires de prochaine génération ayant les caractéristiques suivantes: fréquences différentes de celles des systèmes cellulaires actuels (partie inférieure de la bande d'ondes centimétriques – en dessous de 6 GHz – selon les prévisions de l'époque), débits de 100 Mbit/s pour les combinés d'utilisateur et de 1 Gbit/s pour les émetteurs des systèmes multicellulaires, en visibilité directe ou non, à l'intérieur des bâtiments, et dans les zones urbaines à forte densité.	< 6 GHz

TABLEAU B-1 (suite)

Notes de liaison (LS)	Période d'études	Origine	Document(s) pertinent(s)	Enoncé du problème	Gamme de fréquences
3M/88	2000-2003	GT 3K	Rec. UIT-R P.1238, Rec. UIT-R P.1411	Le Groupe de travail 8F a demandé que l'on détermine les caractéristiques de la propagation pour les systèmes postérieurs aux IMT-2000 et que des méthodes de prévision de la propagation soient mises au point pour ces systèmes. Le GT 3K a élaboré des Recommandations sur la prévision de la propagation qui répondent à cette demande.	
3M/90	2000-2003	GT 3M	Rec. UIT-R P.620	Réponse du GT 3M au GT 6S sur l'utilisation de la Recommandation UIT-R P.620, qui poserait problème lorsqu'elle est basée sur l'Annexe 3 de l'Appendice 30, plutôt que sur l'Appendice 7, dans l'optique duquel a été élaborée cette Recommandation.	Sans objet
3M/97	2000-2003	GT 6S	Rec. UIT-R P.620-4	Réponse à une note de liaison précédente sur l'utilisation de l'Appendice 3 pour les scénarios de brouillage.	Sans objet
3M/2	2000-2003	Directeur du BR	Rec. UIT-R SM.1448, Rec. UIT-R P.620	Comparaison des résultats obtenus au moyen des Recommandations UIT-R SM.1148 et UIT-R P.620.	14 et 6 GHz
3M/51	2003-2007	GT 4A	Rec. UIT-R P.452	Utilisation de la Recommandation UIT-R P.452, qui a posé deux difficultés: 1) A une distance proche de la distance de diffraction, la formule de l'affaiblissement de propagation était discontinue; 2) lors de simulations basées sur la Recommandation UIT-R P.452, le niveau d'affaiblissement par diffraction semblait varier avec la latitude. L'affaiblissement par diffraction au niveau de l'équateur (0°), notamment, était différent de celui observé aux latitudes nord moyennes (40°) ou plus élevées (> 50°). S'agissait-il d'une véritable différence? Quelles étaient les raisons de cette variation?	13,75-14 GHz
3M/103	2003-2007	GT 4A	Utilisation de la Rec. UIT-R P.452	Le Groupe de travail 4A a posé des questions sur la Recommandation UIT-R P.452. Le Groupe de travail 3M a demandé que soient formulés des commentaires à propos de l'utilité et de l'applicabilité de cette Recommandation.	Sans objet

TABLEAU B-1 (suite)

Note de liaison (LS)	Période d'études	Origine	Document(s) pertinent(s)	Enoncé du problème	Gamme de fréquences
3M/227 3K/183	2003-2007	GT 8F	Rec. UIT-R P.1546	Modèles de propagation applicables aux études de partage entre les services IMT-2000 et la radiodiffusion DVB-T. Le GT 8F demande au GT 3M et au GT 3K de formuler des commentaires sur deux modèles de prévision, à savoir le modèle de la Recommandation UIT-R P.1546 et le modèle de «Hata élargi», et de donner leur avis sur trois points: 1) Prévision des différences d'affaiblissement le long du trajet pour des conditions d'application identiques (fréquence, hauteur d'antenne, distance, environnement). Quel modèle est le plus approprié pour une utilisation en partage entre des services IMT-2000 et des services de radiodiffusion DVB-T dans la bande d'ondes décimétriques (470-862 MHz) pour différentes hauteurs d'antenne et distances, et une pour une utilisation dans des zones urbaines et rurales? 2) Hauteurs d'antenne: la hauteur d'antenne des récepteurs IMT-2000 est en général de 1,5 m au-dessus du niveau du sol, alors que les antennes de réception de radiodiffusion ont une hauteur de 10 m ou plus. Quels sont les facteurs de correction liés à la hauteur appropriés en zone urbaine et rurale? 3) En cas de différences de polarisation d'antenne entre les systèmes IMT-2000 et DVB-T, quels sont les facteurs de dépolarisation d'antenne recommandés dans les quatre cas considérés?	
3M/1 9D/10	2003-2007	GT 7E		Partage entre des liaisons à haute densité dans le service fixe et d'autres services. Trois questions: 1) L'effet d'écran dû aux bâtiments à proximité des terminaux HD-FS n'est pas le même que pour les systèmes cellulaires. 2) Etude de la répartition spatiale des terminaux HD-FS (pour modéliser les brouillages cumulatifs?) 3) La dynamique des signaux HD-FS est plus rapide que les temps d'évanouissement de la propagation, ce qui a sans doute des incidences sur l'analyse de la protection et des brouillages.	30-50 GHz
3M/5 4A/77	2003-2007	Groupe mixte de Rapporteurs 8A-9B	Doc. 8A-9B/TEMP/4	Affaiblissement dû aux bâtiments dans le cadre de la protection des liaisons de connexion non OSG du SMS contre les brouillages causés par les réseaux RLAN.	5 GHz
3M/26	2003-2007	Japon	Rec. UIT-R P.1238, Rec. UIT-R P.1410	Méthode visant à l'évaluation quantitative de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments à l'aide d'une combinaison de modèles de la Commission d'études 3.	5 GHz
3M/41	2003-2007	GT 3M	Rec. UIT-R P.1546	Note de liaison annonçant au GT 8B et au GT 8F l'adoption d'une nouvelle Recommandation pour les études de partage à l'aide de prévisions point à zone.	2 700-2 900 MHz
3M/46	2003-2007	GT 9D	Nouvelle méthodologie	Le GT 9D a créé une nouvelle méthodologie pour la coordination et la protection contre les brouillages zone vers point entre la radioastronomie et les stations terriennes.	> 30 GHz

TABLEAU B-1 (*fin*)

Note de liaison (LS)	Période d'études	Origine	Document(s) pertinent(s)	Enoncé du problème	Gamme de fréquences
3M/79	2003-2007	GT 9A	Rec. UIT-T M.2110, Rec. UIT-R F.1330-1	Informations sur la propagation par temps clair utiles à la mise en service des liaisons de radiocommunication. Telenor a mené des expériences sur le littoral norvégien pendant un an et mesuré la probabilité de forte dégradation (évanouissement profond) des liaisons numériques de Terre hyperfréquences à large bande avec diversité d'espace. Les résultats de l'analyse sont exposés dans cette note de liaison. La mise en service se fonde en général sur la Recommandation UIT-T M.2110, mais Telenor recommande l'utilisation de la Recommandation UIT-R F.1330-1 pour les évanouissements profonds à faible probabilité d'occurrence dus à des conditions de propagation atmosphérique anormales.	6 GHz
3M/95	2003-2007	GT 9A	Rec. UIT-R P.530	Comparaison de la Recommandation UIT-R P.530 à la méthode de Crane globale qui facilite la mise en oeuvre de la Recommandation UIT-R P.530 par le GT 9A.	Sans objet
3M/93	2003-2007	GT 9A	Rec. UIT-R P. 837	Note de liaison visant à obtenir des avis concernant les interrelations entre deux modèles de pluie pour une utilisation dans une Recommandation, l'un des deux modèles ayant été jugé défectueux.	Sans objet
3M/49	2003-2007	GT 9A	Basé sur la Rec. UIT-T G.827, application possible aux Recommandations UIT-R F.1491 et UIT-R F.1492	Demande d'orientation sur la méthode de prévision de la fréquence d'interruption. Le GT 9A informe le GT 3M d'une décision de finalisation de l'avant-projet de nouvelle Recommandation «Objectifs de disponibilité applicables aux liaisons hertziennes fixes numériques réelles utilisées dans des conduits fictifs de référence de 27 500 km». Le GT 9A demande des orientations sur une méthode de prévision de la fréquence d'interruption, sur la base des caractéristiques de la connexion déjà utilisées à des fins de conception, afin que le concepteur puisse tenir compte de ce paramètre pour le dimensionnement des liaisons réelles.	
3M/60	2003-2007	CE 15 de l'UIT-T	Projet de révision de la Question UIT-R 228/3	Données de propagation requises pour la planification des systèmes fonctionnant au-delà de 275 GHz. Méthodes de prévision de la propagation utilisées pour les applications point à point entre 800 nm et 1 600 nm (187,5 THz et 375 THz). Les méthodes de prévision de la propagation existant à l'époque concernaient uniquement les trajets Terre vers espace et espace vers espace.	187,5-375 THz
3M/96	2003-2007	GT 7C	Rec. UIT-R P.528	Nécessité ou non d'utiliser un facteur de correction dans la mise en oeuvre de la Recommandation UIT-R P.528, sur la base des disparités de fréquence et des informations obtenues à partir des différents pourcentages de temps.	403 MHz ou 1 680 MHz



* 3 7 6 9 3 *

Imprimé en Suisse
Genève, 2013
ISBN 978-92-61-14122-6