

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.617-3
(09/2013)

**Techniques de prévision de la propagation
et données de propagation nécessaires pour
la conception des faisceaux hertziens
transhorizon**

Série P
Propagation des ondes radioélectriques



Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

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

Séries des Recommandations UIT-R

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

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

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

Publication électronique
Genève, 2014

© UIT 2014

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

RECOMMANDATION UIT-R P.617-3*

Techniques de prévision de la propagation et données de propagation nécessaires pour la conception des faisceaux hertziens transhorizon

(Question UIT-R 205/3)

(1986-1992-2012-2013)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, pour planifier convenablement les faisceaux hertziens transhorizon, il est nécessaire que l'on possède des méthodes de prévision et des données appropriées sur la propagation;
- b) que l'on a mis au point des méthodes permettant de prévoir les caractéristiques de propagation les plus importantes qui affectent la planification des systèmes de faisceaux hertziens transhorizon;
- c) que l'on a vérifié dans la mesure du possible, ces méthodes au moyen des données de mesure disponibles et constaté qu'elles avaient une précision compatible à la fois avec la nature fluctuante des phénomènes de propagation et adaptée à la plupart des applications actuelles à la planification des systèmes,

recommande

que l'on adopte les méthodes de prévision et les autres techniques exposées dans l'Annexe 1 pour la planification des faisceaux hertziens transhorizon dans les domaines de valeurs respectives des caractéristiques indiquées.

Annexe 1

1 Introduction

Les seuls mécanismes de propagation radioélectrique transhorizon qui interviennent en permanence aux fréquences supérieures à 30 MHz sont les mécanismes de diffraction à la surface de la Terre et de diffusion due aux irrégularités atmosphériques. L'affaiblissement des signaux diffractés augmente très rapidement avec la distance et la fréquence et, en fin de compte, le principal mécanisme est celui de la diffusion troposphérique. Ces deux mécanismes peuvent être utilisés pour établir des radiocommunications transhorizon. En raison du caractère dissemblable de ces deux mécanismes, les trajets de diffraction et les trajets à diffusion troposphérique doivent être examinés séparément pour prévoir l'affaiblissement de transmission.

La présente Annexe expose la conception des systèmes de faisceaux hertziens transhorizon. L'un de ses objectifs est de présenter sous forme concise des méthodes simples de prévision des distributions annuelles et pour le mois le plus défavorable de l'affaiblissement de transmission dû à la diffusion troposphérique et des précisions sur leur domaine de validité. Cette Annexe a aussi pour but d'indiquer

* La Commission d'études 3 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en avril 2015 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

d'autres renseignements et des techniques que l'on peut recommander pour la planification des systèmes transhorizon.

2 Produits numériques faisant partie intégrante de la Recommandation

On trouvera dans le fichier [R-REC-P.617-3-201309-I!!ZIP-E](#) le fichier TropoClim.txt, qui est un fichier ASCII qui contient les identifiants des différentes zones climatiques sous la forme d'une valeur entière. Les données sont présentées sous la forme d'une grille des valeurs pour les différentes latitudes/longitudes au format utilisé habituellement par l'UIT-R. Le format des données est le suivant:

TABLEAU 1

Source	Latitude (lignes)			Longitude (colonnes)		
	Première ligne (°N)	Espacement (en degrés)	Nombre de lignes	Première colonne (°E)	Espacement (en degrés)	Nombre de colonnes
P.2001	89,75	0,5	360	-179,75	0,5	720

NOTE 1 – La valeur «Première ligne» est la latitude correspondant à la première ligne.

NOTE 2 – La valeur «Première colonne» est la longitude correspondant à la première colonne. Les colonnes présentent les longitudes dans un ordre croissant, de 179,75°W à 179,75°E compris. En d'autres termes, la longitude augmente à mesure que l'on va vers l'Est.

NOTE 3 – L'«espacement» donne l'incrément pour la latitude/longitude d'une ligne/colonne à l'autre.

NOTE 4 – Le fichier TropoClim.txt contient des identificateurs de zone entiers et non des variables météorologiques continues. Par conséquent, les valeurs **ne** devraient **pas** être interpolées pour obtenir une valeur à une latitude/longitude donnée. Au lieu de cela, il conviendrait de prendre la valeur donnée pour le point le plus proche dans la grille. En ce qui concerne ce fichier, veuillez noter que la dernière colonne ne reprend pas la valeur de la première colonne. Par conséquent, les lignes portent sur des latitudes allant de 89,75°N à 89,75°S et les colonnes sur des longitudes allant de 179,75°W à 179,75°E.

3 Affaiblissement de transmission sur les trajets de diffraction

Pour les trajets radioélectriques ne s'étendant que légèrement au-delà de l'horizon, ou pour les trajets passant au-dessus d'un obstacle ou au-dessus d'un terrain montagneux, c'est généralement la diffraction qui constitue le mode de propagation déterminant pour l'intensité de champ. En pareils cas, il convient d'appliquer les méthodes décrites dans la Recommandation UIT-R P.526.

4 Distribution de l'affaiblissement de transmission sur les trajets à diffusion troposphérique

Les signaux reçus par diffusion troposphérique présentent à la fois des variations lentes et rapides. Les variations lentes sont dues à des modifications générales des conditions de réfraction dans l'atmosphère et les évanouissements rapides au déplacement de zones d'irrégularités peu étendues. Les distributions des médianes horaires de l'affaiblissement de transmission qui sont à peu près log-normales et d'écart types d'environ 4 à 8 dB selon le climat donnent une bonne représentation des variations lentes. Les variations rapides, sur une période d'environ 5 mn, suivent à peu près une distribution de Rayleigh.

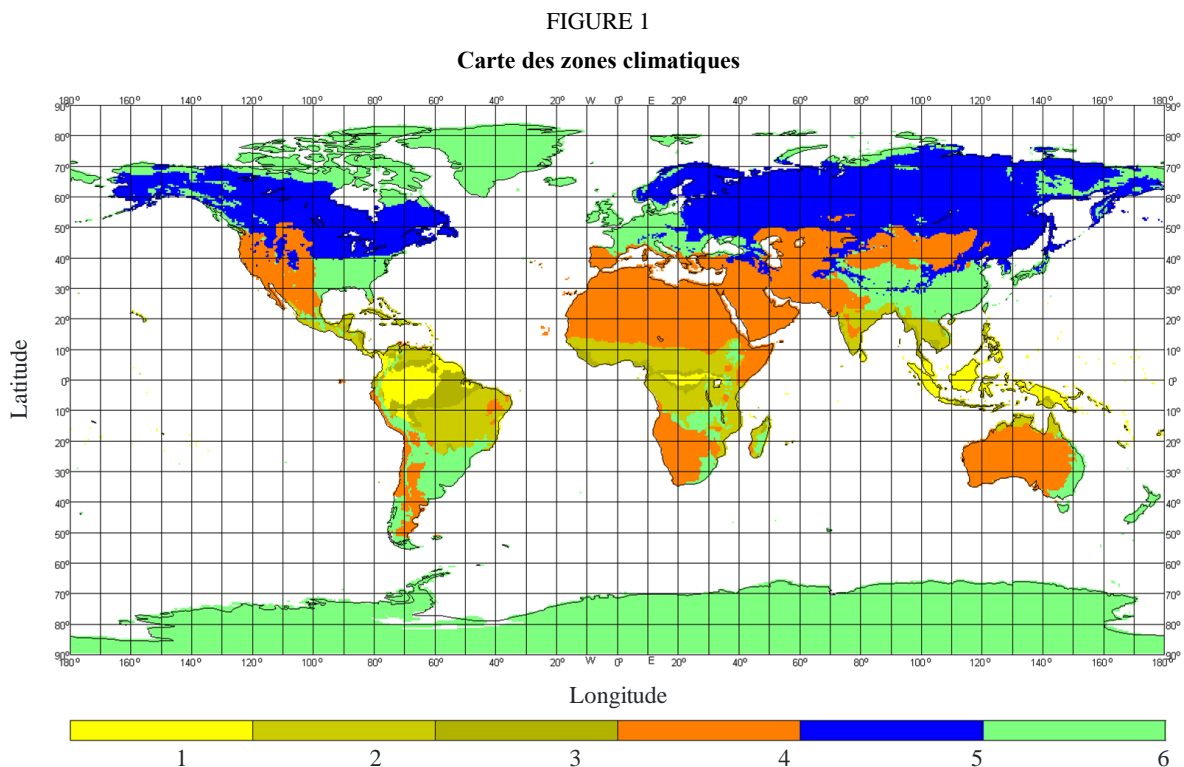
Lorsqu'on étudie le fonctionnement des liaisons transhorizon dans des conditions géométriques où la diffusion troposphérique est le phénomène dominant, on a coutume d'estimer la médiane horaire de

l'affaiblissement de transmission pour des pourcentages du temps de non-dépassement supérieurs à 50%. Le § 4.1 expose une technique semi-analytique simple permettant de prévoir la distribution de l'affaiblissement de transmission annuel moyen. Le § 4.2 présente une technique graphique ayant pour objet de convertir ces pourcentages de temps annuels en pourcentages valables pour le mois le plus défavorable moyen. Enfin, le § 4.3 donne des renseignements supplémentaires sur l'évaluation de la distribution des affaiblissements de transmission pour de petits pourcentages de temps, en vue d'utilisation pour obtenir les gammes dynamiques requises du récepteur. L'Appendice 1 contient des données additionnelles sur les variations diurnes et saisonnières de l'affaiblissement de transmission, la fréquence des évanouissements rapides, les trajets par diffusion troposphérique et la largeur de bande des émissions.

4.1 Distribution des valeurs médianes de l'affaiblissement de transmission annuel moyen pour des pourcentages du temps supérieurs à 50%

Il est recommandé d'appliquer la méthode pas à pas suivante pour estimer l'affaiblissement de transmission annuel moyen (valeurs médianes) $L(q)$ qui n'est pas dépassé pour des pourcentages de temps q supérieurs à 50%. Il faut connaître les caractéristiques d'une liaison de d (km) le long d'un grand cercle, la fréquence f (MHz), le gain G_t (dB) de l'antenne d'émission, le gain G_r (dB) de l'antenne de réception, l'angle d'élévation de l'horizon θ_t (mrad) à l'émetteur et θ_r (mrad) au récepteur:

Etape 1: Déterminer le climat qui convient au volume commun de la liaison en question en utilisant la carte des zones climatiques de la Fig. 1. Cette carte numérique, TropoClim.txt, fait partie intégrante de la présente Recommandation (voir le § 2).



P.0617-01

Si le volume commun pour la diffusion troposphérique se trouve au-dessus de la mer, on détermine les climats à la fois à l'emplacement de l'émetteur et à l'emplacement du récepteur. Si les deux terminaux sont associés à une zone de climat terrestre, la zone climatique pour le trajet est celle des deux zones climatiques pour l'émetteur et le récepteur qui a la plus petite valeur. Si un seul des

terminaux est associé à une zone de climat terrestre, c'est cette zone climatique qui définit la zone climatique pour le trajet. Si aucun des terminaux n'est associé à une zone de climat terrestre, on attribue au trajet une zone de climat maritime.

Etape 2: Relever dans le Tableau 2 ci-dessous pour le climat en question les paramètres de structure météorologique et atmosphérique, respectivement M et γ , ainsi que la formule à utiliser pour calculer $Y(90)$.

TABLEAU 2

Valeurs des paramètres de structure météorologique et atmosphérique

Climat	1	2	3	4	5	6	Maritime*
M (dB)	39,60	29,73	19,30	38,50	29,73	33,20	26,00
γ (km ⁻¹)	0,33	0,27	0,32	0,27	0,27	0,27	0,27
Formule $Y(90)$	9	7	10	11	7	7	8

* Dans le fichier TropoClim.txt, la valeur 0 désigne une zone maritime.

Etape 3: Calculer l'angle de diffusion θ (distance angulaire) au moyen de la formule:

$$\theta = \theta_e + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad} \quad (1)$$

où θ_t et θ_r sont les angles de site de l'horizon à l'émetteur et au récepteur respectivement, et

$$\theta_e = d \cdot 10^3 / ka \quad \text{mrad} \quad (2)$$

où:

d : longueur du trajet

$a = 6\,370$ km, rayon de la Terre

k : facteur de rayon équivalent de la Terre pour des conditions de réfraction médianes (on prendra $k = 4/3$ sauf si on connaît une valeur plus précise).

Etape 4: Evaluer la variation de l'affaiblissement de transmission L_N en fonction de l'altitude du volume commun au moyen de la formule:

$$L_N = 20 \log(5 + \gamma H) + 4,34 \gamma h \quad \text{dB} \quad (3)$$

où:

$$H = 10^{-3} \theta d / 4 \quad \text{km} \quad (4)$$

$$h = 10^{-6} \theta^2 k a / 8 \quad \text{km} \quad (5)$$

et γ est la caractéristique de structure atmosphérique obtenue à l'étape 2.

Etape 5: Estimer le facteur de conversion $Y(q)$ pour des pourcentages de non-dépassement q différents de 50% au moyen de la formule:

$$Y(q) = C(q) Y(90) \quad \text{dB} \quad (6)$$

$Y(90)$ est ici le facteur de conversion pour $q = 90\%$ qui est donné par la formule appropriée (7-11) indiquée dans le Tableau 2 pour le climat en question:

$$Y_{90} = -2,2 - \left[8,1 - 2,3 \cdot 10^{-4} \min(f, 4000) \right] \exp(-0,137h) \quad (7)$$

$$Y_{90} = -9,5 - 3 \exp(-0,137h) \quad (8)$$

$$Y_{90} = -8,2 \quad d_s < 100 \quad (9a)$$

$$Y_{90} = 1,006 \cdot 10^{-8} d_s^3 - 2,569 \cdot 10^{-5} d_s^2 + 0,02242 d_s - 10,2 \quad 100 \leq d_s < 1000 \quad (9b)$$

$$Y_{90} = -3,4 \quad \text{dans les autres cas} \quad (9c)$$

$$Y_{90} = -10,845 \quad d_s < 100 \quad (10a)$$

$$Y_{90} = -4,5 \cdot 10^{-7} d_s^3 + 4,45 \cdot 10^{-4} d_s^2 - 0,122 d_s - 2,645 \quad 100 \leq d_s < 465 \quad (10b)$$

$$Y_{90} = -8,4 \quad \text{dans les autres cas} \quad (10c)$$

$$Y_{90} = -11,5 \quad d_s < 100 \quad (11a)$$

$$Y_{90} = -8,519 \cdot 10^{-8} d_s^3 + 7,444 \cdot 10^{-5} d_s^2 - 4,18 \cdot 10^{-4} d_s - 12,1 \quad 100 \leq d_s < 550 \quad (11b)$$

$$Y_{90} = -4 \quad \text{dans les autres cas} \quad (11c)$$

où:

$$d_s = \theta_{ka} / 1000 \quad \text{km} \quad (12)$$

On peut trouver le coefficient $C(q)$ pour le pourcentage de non-dépassement du temps en question dans le Tableau 3 ci-après.

TABLEAU 3

Values pertinentes de $C(q)$

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

Etape 6: Evaluer la perte de couplage L_c entre l'antenne et le milieu au moyen de la formule:

$$L_c = 0,07 \exp [0,055(G_t + G_r)] \quad \text{dB} \quad (13)$$

où G_t et G_r sont les gains d'antenne.

Etape 7: Estimer l'affaiblissement de transmission annuel moyen qui n'est pas dépassé pendant $q\%$ du temps au moyen de la formule:

$$L(q) = M + 30 \log f + 10 \log d + 30 \log \theta + L_N + L_c - G_t - G_r - Y(q) \quad \text{dB} \quad (14)$$

NOTE 1 – La formule (14) est une formule empirique tirée des données disponibles pour la gamme des fréquences de 200 MHz à 4 GHz. Dans la plupart des cas on peut l'extrapoler jusqu'à 5 GHz au prix d'une faible erreur.

4.2 Distribution de l'affaiblissement de transmission moyen (valeurs médianes) pour le mois le plus défavorable, pour des pourcentages de temps supérieurs à 50%

Afin de rester cohérent avec la distribution de l'affaiblissement de transmission annuel moyen, la présente distribution sera mieux définie à partir de la distribution annuelle moyenne grâce à un facteur de conversion. La méthode est la suivante:

Etape 1: Au moyen de la méthode du § 4.1, trouver la distribution annuelle moyenne pour les pourcentages de non-dépassement de 50, 90, 99 et 99,9 et le(s) climat(s) à considérer.

Etape 2: A partir des courbes de la Fig. 2, calculer la différence d'affaiblissement de transmission de référence entre la distribution annuelle moyenne et la distribution moyenne pour le mois le plus défavorable. Faute de courbes présentant des données mesurées pour les climats 2 et 5, on utilisera les courbes du climat 3 pour le climat 2 et les courbes du climat 6 pour le climat 5.

La distance équivalente utilisée dans la Fig. 2 est définie comme suit:

$$d_q = d + 8,5(\theta_t + \theta_r) \quad \text{km} \quad (15)$$

Où les symboles ont les mêmes valeurs que celles calculées au § 4.1.

Etape 3: Ajouter les différences trouvées à l'étape 2 aux valeurs annuelles moyennes correspondantes obtenues à l'étape 1 afin d'obtenir les affaiblissements de transmission moyens pour le mois le plus défavorable, pour des pourcentages de non-dépassement de 50, 90, 99 et 99,9.

Etape 4: A partir des valeurs ci-dessus, on peut évaluer par extrapolation logarithmique (c'est-à-dire, en extrapolant sur un graphique tracé sur un papier gaussien) les affaiblissements de transmission moyens pour le mois le plus défavorable non dépassés pendant 99,99% du temps.

4.3 Distribution de l'affaiblissement de transmission annuel moyen (valeurs médianes) pour des pourcentages de temps inférieurs à 50%

Pour des pourcentages de temps compris entre environ 20% (ou même 1% au-dessus du sol sous des climats secs) et 50%, on peut considérer que la distribution de l'affaiblissement de transmission annuel moyen est symétrique, et estimer les valeurs de l'affaiblissement de transmission à partir des valeurs correspondantes supérieures à la médiane, à savoir:

$$L(20\%) = L(50\%) - [L(80\%) - L(50\%)] \quad (16)$$

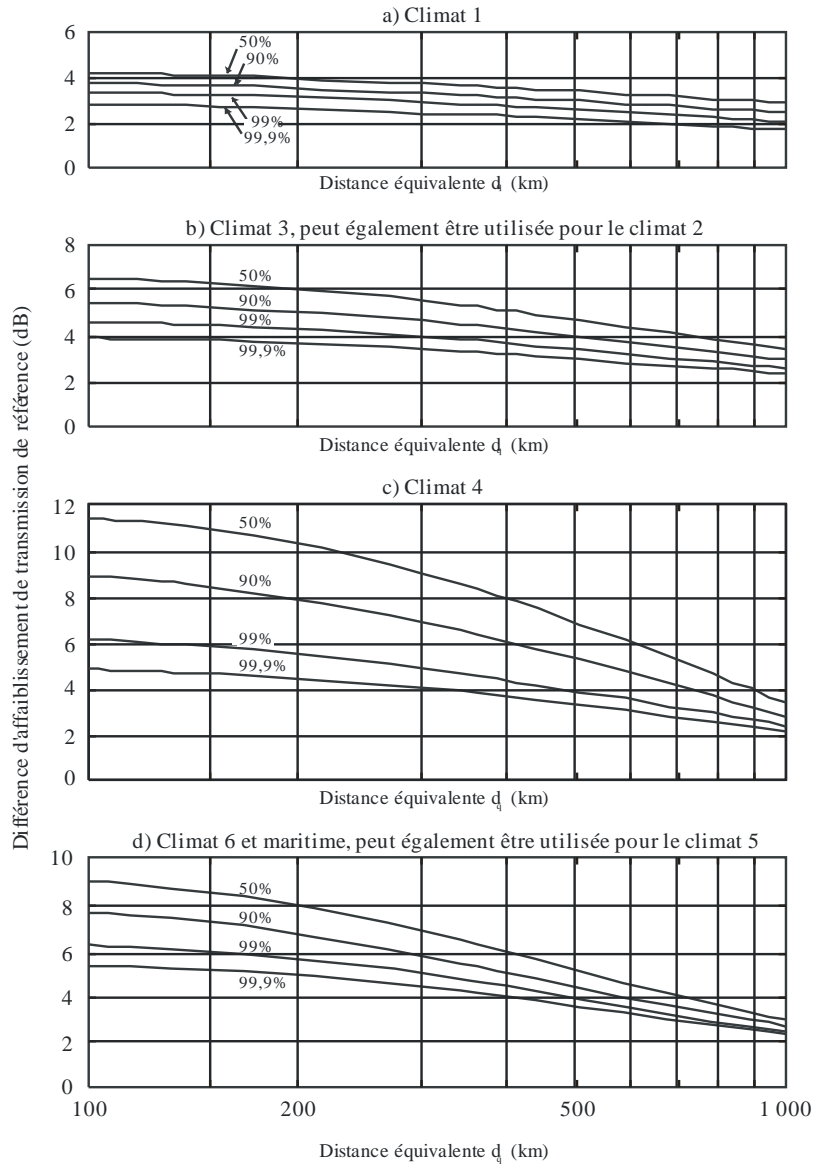
Toutefois, pour des calculs de la dynamique qui exigent une évaluation de la distribution pour de plus faibles pourcentages du temps, on ne peut supposer que l'on se trouve en présence de la seule diffusion troposphérique. Les valeurs de l'affaiblissement de transmission qui ne sont pas dépassées pendant de très faibles pourcentages du temps dépendront de la propagation par conduit. La méthode exposée dans la Recommandation UIT-R P.452 permet d'obtenir une meilleure estimation de ces valeurs.

5 Réception en diversité

Les évanouissements profonds qui accompagnent la propagation par diffusion troposphérique diminuent sérieusement les performances des systèmes qui reposent sur ce mode de propagation. On peut atténuer les effets des évanouissements en recourant à la réception en diversité, qui consiste à faire usage de deux signaux ou davantage, dont les évanouissements sont plus ou moins indépendants en raison des différences de longueur des trajets de diffusion ou de fréquence. On sait donc que le recours à la diversité d'espace, d'angle ou de fréquence diminue les pourcentages de temps pendant lesquels de forts affaiblissements de transmission sont dépassés. Toutefois, la diversité d'angle peut avoir le même effet que la diversité verticale d'espace et être plus économique.

FIGURE 2

Courbes donnant la différence entre l'affaiblissement de transmission de référence pour le mois le plus défavorable et l'affaiblissement de transmission de référence annuel



P.0617-02

5.1 Diversité d'espace

En fonction de ce qui convient le mieux à l'emplacement considéré, on peut recourir à la diversité d'espace dans le sens horizontal ou vertical. Pour les fréquences supérieures à 1 000 MHz, les espacements de diversité appropriés Δh ou Δv sont donnés par les relations empiriques:

$$\Delta h = 0,36 (D^2 + 4I_h^2)^{1/2} \quad \text{m} \quad (17)$$

$$\Delta v = 0,36 (D^2 + 4I_v^2)^{1/2} \quad \text{m} \quad (18)$$

où D est le diamètre de l'antenne (m) et $I_h = 20$ m et $I_v = 15$ m des échelles de longueur empiriques pour les directions horizontale et verticale respectivement.

5.2 Diversité de fréquence

Pour les installations où l'on souhaite recourir à la diversité de fréquence, un écart de fréquence approprié Δf (MHz) est donné pour les fréquences supérieures à 1 000 MHz par la relation:

$$\Delta f = (1,44 f / \theta d) (D^2 + I_v^2)^{1/2} \quad \text{MHz} \quad (19)$$

où:

- f : fréquence (MHz)
- D : diamètre de l'antenne (m)
- θ : angle de diffusion (mrad) tiré de la formule (1)
- I_v : 15 m l'échelle de longueur ci-dessus.

5.3 Diversité d'angle

Il est aussi possible de recourir à la diversité d'angle verticale où l'on utilise avec un même réflecteur deux excitateurs d'antenne ou davantage étagés dans le sens vertical. Il en résulte des volumes communs distincts situés les uns au-dessus des autres comme pour la diversité d'espace verticale. Sur un trajet à peu près symétrique, l'écart angulaire $\Delta \theta_r$ qui donne approximativement le même résultat qu'un espacement vertical Δv (m) (formule (18)) est donné par:

$$\Delta \theta_r = \text{arc tg} (\Delta v / 500d) \quad (20)$$

où d est la longueur du trajet (km).

6 Influence de l'emplacement des stations

L'emplacement des liaisons utilisant la transmission transhorizon demande à être choisi avec un certain soin. Les faisceaux d'antenne ne doivent pas être masqués par des obstacles proches et doivent être pointés légèrement au-dessus de l'horizon. La valeur précise de l'inclinaison optimale des faisceaux d'antenne vers le haut dépend du trajet et des conditions atmosphériques, mais cette inclinaison au-dessus de l'horizon est comprise entre environ 0,2 et 0,6 fois l'ouverture du faisceau de l'antenne.

Une administration a effectué des mesures dans lesquelles on utilisait une antenne ayant un gain de 53 dB, dont on écartait le faisceau de la direction de l'horizon (grand cercle) pour deux émetteurs de 2 GHz, chacun d'eux distant de 300 km; on constata que la puissance reçue diminuait de 9 dB par degré. Cela s'accompagnait d'une augmentation de l'angle de diffusion sur les trois premiers degrés, aussi bien en azimut qu'en élévation, pour chaque trajet, et dans une gamme étendue de pourcentages du temps.

Appendice 1

Données supplémentaires

1 Variations saisonnières et diurnes de l'affaiblissement de propagation

Dans les climats tempérés, les affaiblissements de propagation présentent des variations annuelles et diurnes. Les médianes mensuelles des affaiblissements ont tendance à être plus élevées en hiver qu'en été. Les valeurs sont comprises entre 10 et 15 dB sur des trajets terrestres de 150-250 km, mais elles diminuent lorsque la distance augmente. Des mesures effectuées dans la partie européenne de la Fédération de Russie sur un trajet de 920 km à 800 MHz montrent une différence de 2 dB seulement entre les médianes obtenues en hiver et en été. Les variations diurnes sont plus marquées en été, les valeurs étant comprises entre 5 et 10 dB sur des trajets terrestres de 100-200 km. Les affaiblissements de propagation les plus importants se produisent dans l'après-midi et les moins importants tôt le matin. Les trajets maritimes ont plus de chance que les trajets terrestres d'être affectés par la superréfraction et les couches élevées; on a donc des variations plus importantes sur les trajets maritimes. Il en est parfois de même dans les régions côtières à terrain plat et bas, dans les zones maritimes.

Dans les climats désertiques secs et chauds, l'affaiblissement est maximal en été. Les variations annuelles des médianes mensuelles pour des trajets de longueur moyenne dépassent 20 dB. Les variations diurnes sont très importantes.

Dans les climats équatoriaux, les variations annuelles ou diurnes sont en général faibles.

Dans les climats de mousson, où des mesures ont été faites (Sénégal, Barbade), les valeurs maximales de N_s , se produisent pendant la saison humide, mais l'affaiblissement minimal a lieu entre la saison humide et la saison sèche.

2 Fréquence des évanouissements rapides sur les trajets avec diffusion troposphérique

Les évanouissements rapides se produisent plusieurs fois par minute aux fréquences basses et plusieurs fois par seconde dans les bandes d'ondes décimétriques. La superposition de plusieurs composantes incohérentes variables donnerait un signal dont l'amplitude obéirait à une loi de distribution de Rayleigh; on constate que cette hypothèse est pratiquement vérifiée si on analyse la répartition pendant des intervalles de temps de durée maximale égale à 5 min. Si d'autres types de signaux constituent une fraction importante du signal reçu, cette répartition se trouve modifiée. On a observé des évanouissements rapides, brusques et profonds, au moment où une perturbation frontale affecte une liaison. La réflexion des ondes sur un aéronef peut provoquer des évanouissements rapides très marqués.

La fréquence d'évanouissement rapide a été étudiée du point de vue de la fonction d'autocorrélation dans le temps, ce qui conduit à une «fréquence moyenne d'évanouissement» pendant les brefs instants où le signal est stationnaire. On a observé que la valeur médiane de la fréquence moyenne d'évanouissement croît presque proportionnellement à la longueur du trajet et à la fréquence de la porteuse et décroît légèrement quand le diamètre de l'antenne croît.

Des mesures ont montré que la rapidité d'évanouissement est la plus grande lorsque la médiane horaire de l'affaiblissement de transmission est supérieure à la médiane à long terme. On a en général observé que la fréquence des évanouissements diminuait quand l'affaiblissement de transmission passait au-dessous de la médiane à long terme, les fréquences d'évanouissement les plus faibles survenant dans les cas où la propagation s'effectuait essentiellement par conduits.

Les évanouissements les plus rapides qui se présentent dans le cas de médianes horaires de l'affaiblissement de transmission supérieures à la médiane à long terme sont les plus importants et les quelques résultats de mesure disponibles (à 2 GHz) donnent des fréquences médianes d'évanouissements comprises entre environ 20 et 30 évanouissements/minute.

3 Largeur de bande transmissible

Les diverses hétérogénéités qui produisent la propagation par diffusion créent autant de trajets de propagation différents, variables en nombre et en temps de transmission. Il en résulte que les coefficients de transmission pour deux fréquences voisines ne sont pas entièrement corrélés, d'où une distorsion du signal transmis. La largeur de bande transmissible est la bande de fréquences à l'intérieur de laquelle la distorsion due à ce phénomène est acceptable pour le signal transmis. Cette largeur de bande dépend donc à la fois de la nature du signal transmis (multiplex téléphonique, image de télévision, etc.) et de la distorsion admissible pour ce signal. Des études effectuées en France montrent que:

- l'augmentation du gain des antennes élargit la bande transmissible dans la mesure où il y a aussi accroissement de la baisse de gain (c'est-à-dire pour des gains supérieurs à environ 30 dB);
 - les autres conditions restant égales, la largeur de bande transmissible dépend de la structure de l'atmosphère et donc de la zone climatique considérée;
 - la largeur de bande transmissible diminue lorsque la distance augmente, mais suivant une loi qui n'est pas la même dans tous les climats;
 - la largeur de bande transmissible est plus petite si l'angle de départ est positif; elle est plus grande si cet angle est négatif.
-