

## RAPPORT 1145 \*

PROPAGATION SUR UN TERRAIN IRREGULIER  
AVEC ET SANS VEGETATION

(QUESTION 9/5)

(1990)

1. Introduction

Le présent Rapport décrit les bases théoriques et les méthodes empiriques élaborées pour évaluer l'affaiblissement de transmission sur un terrain irrégulier, qui peut être couvert de végétation. L'affaiblissement de transmission sur un terrain irrégulier est une fonction complexe faisant entrer en jeu la fréquence, la configuration du trajet, la densité de la végétation et d'autres variables moins significatives. Cette complexité exige le recours à des méthodes d'approximation, qui peuvent cependant donner des résultats satisfaisants. D'une manière générale, ces méthodes peuvent être réparties en deux catégories.

L'une de ces catégories résulte de techniques mathématiques de régression appliquées aux données expérimentales. On obtient ainsi des formules qui décrivent l'affaiblissement de transmission mesuré en fonction des différentes variables caractérisant le trajet. Si cette méthode peut permettre de prévoir correctement l'affaiblissement de transmission sur des trajets pratiquement identiques, pour la même gamme de fréquences que les données mesurées, toute tentative d'extrapoler ces prévisions à d'autres gammes de fréquences et à des trajets décrits par des variables se situant au-delà des données observées, donne généralement lieu à des erreurs considérables.

L'autre catégorie d'approximation est souvent qualifiée de semi-empirique. Elle consiste en évaluations théoriques de l'affaiblissement de transmission, faites sur la base d'une représentation idéale du terrain et modifiées par des facteurs de correction déterminés empiriquement pour tenir compte des irrégularités réelles du terrain et de la couverture végétale. Les formes mathématiques de ces corrections sont généralement fondées sur des méthodes théoriques.

2. Représentation théorique des irrégularités du terrain

On a élaboré diverses représentations théoriques de terrains irréguliers afin de permettre l'application de méthodes théoriques au calcul de l'affaiblissement de transmission. Dans de nombreux cas, le profil du terrain peut être remplacé par une série de caractéristiques prédominantes, qui peuvent être représentées par des arêtes en lame de couteau ou des obstacles arrondis idéaux. Il ressort de la plupart des données expérimentales que seules quelques caractéristiques saillantes ont une importance. On peut faire abstraction des champs de diffraction dus à d'autres obstacles.

L'affaiblissement de transmission supplémentaire dû à un série d'arêtes en lame de couteau peut être évalué à l'aide de plusieurs méthodes fondées sur l'application de l'optique géométrique et sur l'affaiblissement de diffraction par une arête en lame de couteau unique décrit dans le Rapport 715. Grosskopf [1987; 1988] a décrit et comparé les méthodes d'approximation communément utilisées de Deygout [1966], Epstein-Peterson [1953],

---

\* Le présent Rapport remplace le Rapport 236.

Bullington [1947] et Giovanelli [1984]. Toutes ces méthodes ont tendance à donner lieu à des erreurs plus grandes au fur et à mesure qu'augmente le nombre d'arêtes en lame de couteau. S'il faut plus de précisions dans des cas particuliers, pour un grand nombre d'arêtes en lame de couteau significatives, il existe une méthode informatique qui peut être utilisée pour un maximum de dix arêtes de ce type [Vogler, 1982].

On n'a pas encore entièrement mis au point de méthodes permettant de calculer l'affaiblissement de transmission au-dessus de plusieurs obstacles arrondis, un complément d'étude est nécessaire. Il existe une méthode d'approximation [Assis, 1971]; un autre auteur [Whitaker, 1988] a suggéré une méthode qui paraît prometteuse.

### 3. Irrégularités sur une petite échelle

Si la variation de la hauteur du terrain au-dessus d'une certaine valeur moyenne est faible par rapport à la longueur d'onde et si les pentes de ce terrain sont faibles elles aussi, on peut utiliser les courbes de la Recommandation 368 valables pour une terre régulière à condition de remplacer l'impédance de surface réelle du terrain par une impédance équivalente plus élevée [Barrick, 1971]. Il peut se faire que cette impédance de surface équivalente soit anisotrope, car l'affaiblissement supplémentaire est plus grand pour les trajets qui traversent une série de lignes de crête que pour ceux qui lui sont parallèles. Hansen [1977] a obtenu une excellente confirmation expérimentale de cette méthode en faisant des mesures sur un trajet maritime dans la gamme de 2 à 20 MHz.

Cette méthode peut être étendue à une méthode d'impédance de surface équivalente pour des zones urbaines [Causebrook, 1978] et pour des terrains boisés lorsque la hauteur des bâtiments et des arbres est sensiblement inférieure à une longueur d'onde.

Il existe également une méthode d'approximation faisant appel à une équation intégrale pour des cas spéciaux dans lesquels la précision demandée pour le champ prévu justifie un supplément de complexité et la mise en oeuvre de ressources informatiques. Une implication donnée à titre d'exemple est l'évaluation du champ aux environs d'une station côtière située sur une falaise dominant la mer.

Les méthodes faisant appel à l'équation intégrale peuvent être utilisées aux fréquences inférieures à 30 MHz environ, pour les trajets caractérisés par des irrégularités de terrain et présentant des caractéristiques électriques non homogènes. Ott [1971] a formulé une méthodologie pour l'application des équations intégrales fondamentales et un code informatique a été développé permettant d'établir des prévisions en matière de propagation [Ott et autres, 1979]. La limitation de 30 MHz provient du fait que l'on a utilisé des points de champ qui ne sont pas nécessairement optimaux mais qui offrent cependant un temps de calcul raisonnable. Les temps de calcul et les besoins de la mémoire tendent à cesser d'être rentables aux fréquences supérieures.

En employant un autre algorithme pour les points du champ, on a constaté que ce modèle pourrait être utilisé jusqu'à au moins 300 MHz [Engdahl, 1982].

Les temps de calcul et les besoins de la mémoire tendent à cesser d'être rentables aux fréquences supérieures.

Des irrégularités de la crête d'une chaîne montagneuse causent des évanouissements variables dans l'espace et dans le temps dus aux interférences du champ diffractant. Des affaiblissements additionnels sont causés par la largeur finie de la ligne de crête. Ces irrégularités sont la cause d'un élargissement du diagramme de diffraction de la ligne de crête. Il en résulte une dégradation du gain équivalent d'antenne et une distorsion en fréquence et en phase du signal [Troitsky, 1975 et 1977].

### 4. Végétation

Aux fréquences inférieures à 1 000 MHz, il est utile de modéliser une forêt sous la forme d'une plaque avec pertes diélectriques [Tamir, 1977] recouvrant le terrain. Aux fréquences inférieures à environ 30 MHz, il est possible d'employer un modèle d'impédance de surface équivalente à deux couches [Wait, 1970] permettant d'appliquer les courbes de la Recommandation 368 pour évaluer l'affaiblissement de transmission.

Dans les bandes des ondes métriques et décimétriques, il faut recourir à d'autres méthodes d'approximation. L'affaiblissement linéique de la végétation forestière est très élevé et, comme cela est indiqué dans la Figure 1, il est de l'ordre de 0,1 dB/m [Saxton et Lane, 1955; Josephson et Blomquist, 1958] dans les bandes d'ondes décimétriques. Ainsi, à ces fréquences, la propagation directe à travers une forêt est limitée à quelques centaines de mètres seulement. Toutefois, le modèle en plaque avec pertes fait apparaître un nouveau mode de propagation qui rend la communication radioélectrique possible dans les forêts. Ce nouveau mode est une onde de surface latérale qui se propage le long de la frontière entre le sommet de la forêt et la couche d'air qui se trouve au-dessus de celle-ci. (Cette onde de surface latérale est analogue au rayon de surface optique qui est créé lorsqu'un rayon de lumière sort d'un milieu optique dense exactement à l'angle de Brewster.) L'onde latérale laisse continuellement échapper de l'énergie dans la forêt avec un affaiblissement géométrique en  $1/d^2$  pour le champ électrique. Si l'interface forêt-air est irrégulière, il peut être nécessaire d'apporter d'autres corrections. La théorie de base [Tamir, 1977] permet aussi de déduire des méthodes de calcul de l'affaiblissement de transmission sur des trajets mixtes (terrain dégagé et forêt) en représentant schématiquement la limite de la forêt sous la forme d'un coin diffractant. On peut recourir à ce traitement théorique à titre de garde pour déterminer la forme mathématique que devront prendre les corrections empiriques permettant de tenir compte de l'affaiblissement dû à la végétation dans les modèles d'affaiblissement de transmission.

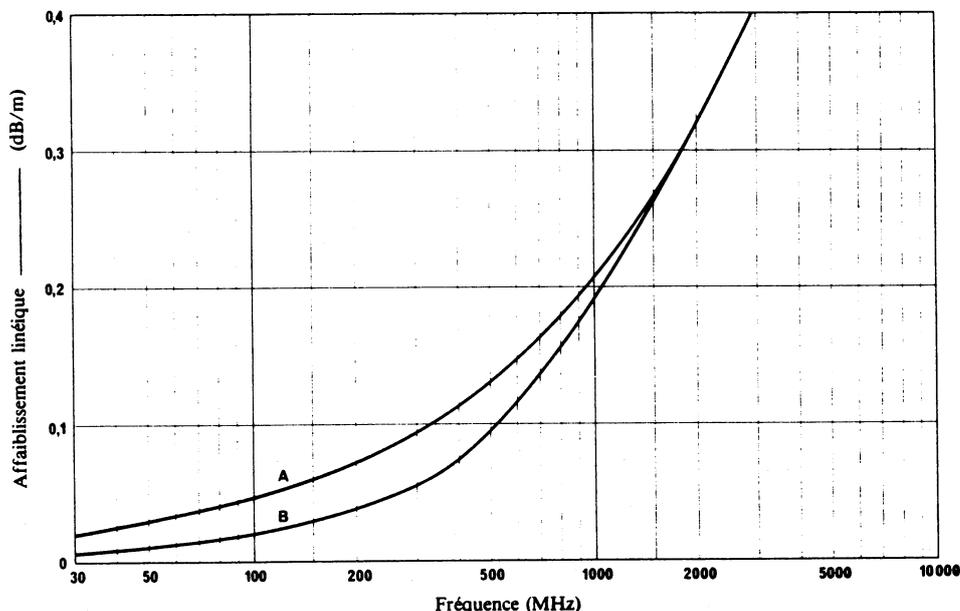


FIGURE 1 - Affaiblissement linéique des forêts

A: en polarisation verticale  
B: en polarisation horizontale

##### 5. Modèles semi-empiriques d'affaiblissement de transmission

Il existe plus d'une douzaine de modèles semi-empiriques d'affaiblissement de transmission sur un terrain irrégulier dans la littérature récente sur les télécommunications. Des comparaisons entre ces modèles ont également été publiées [Grosskopf, 1987, 1988; Delisle et autres, 1985]. Ces modèles emploient pour la plupart des évaluations théoriques de l'affaiblissement de transmission sur un terrain schématisé par une série d'arêtes en lame de couteau. Certains de ces modèles comportent explicitement un affaiblissement supplémentaire dû à la végétation et aux bâtiments. Tous contiennent différents facteurs de correction fondés sur l'analyse de mesures expérimentales pour un certain nombre de trajets. On trouvera dans l'Annexe I la description détaillée d'un modèle d'affaiblissement de transmission semi-empirique représentatif.

Avant d'appliquer un modèle semi-empirique quel qu'il soit, il convient de consulter les références appropriées afin de déterminer si le terrain et la densité de la végétation pour lesquels le modèle a été élaboré correspondent au nouveau terrain sur lequel il doit être appliqué.

#### 6. Terrain très irrégulier et montagneux

Les modèles théoriques et semi-empiriques décrits ci-dessus comportent implicitement l'hypothèse selon laquelle la propagation est confinée à deux dimensions le long du trajet d'un grand cercle entre les points d'émission et de réception. Si le terrain entourant le trajet du grand cercle est très irrégulier, montagneux par exemple, d'autres trajets de propagation peuvent modifier sensiblement l'affaiblissement de transmission.

Si la caractéristique du terrain diffractant, qui est représentée par une arête en lame de couteau dans ces modèles, est irrégulière dans le sens perpendiculaire au trajet du grand cercle entre les points d'émission et de réception, on peut prévoir des variations de l'affaiblissement de transmission qui peuvent atteindre jusqu'à 10 dB. Une méthode numérique [Assis, 1981] a été élaborée pour corriger dans de tels cas l'affaiblissement par diffraction dû à une arête unique en lame de couteau. Une autre manière de traiter ce type de propagation par trajets multiples consiste à admettre que les modèles théoriques et semi-empiriques représentent l'affaiblissement de transmission médian d'une distribution de Rayleigh ou de Nakagami-Rice (voir le Rapport 1007).

Sur un terrain très irrégulier, il convient d'étudier la réflexion ou la diffusion dues aux caractéristiques du terrain adjacent au trajet du grand cercle afin de déterminer si les champs additionnels contribuent sensiblement au champ au point de réception.

Des études théoriques et expérimentales menées en URSS [Troitsky, 1976 —] ont montré que les ondes décimétriques et centimétriques peuvent se propager dans la zone d'ombre de chaînes de montagnes, par réflexion et diffusion anisotropique dans la couche diélectrique formée par leur couverture neigeuse. Ce phénomène entraîne parfois une nette intensification du champ dans l'ombre des pics et des crêtes par rapport au champ dû à la seule diffraction.

Sur de très long trajets, les champs de diffusion troposphérique (voir le Rapport 238) peuvent se combiner de manière significative avec le champ de diffraction et modifier encore l'affaiblissement de transmission.

Dans les zones montagneuses où existent des massifs et des sommets dominants, visibles aussi bien de la station réceptrice que de la station émettrice, il arrive souvent qu'un champ soit engendré par rétrodiffusion sur les versants montagneux. Ce champ peut être assez fort. Les études expérimentales faites en URSS [Troitsky, 1986] ont montré que ce phénomène avait notamment pour résultat une propagation des ondes radioélectriques sur des distances de l'ordre de 100 km ou plus, dans des zones d'ombre électromagnétique très dense. Ces études ont également montré que le champ de diffusion dépend dans une large mesure de la fréquence utilisée avec un maximum la bande des ondes métriques.

Les fluctuations de niveau du signal par suite d'interférences sont particulièrement prononcées dans les bandes d'ondes décimétriques et centimétriques. On observe d'importantes disparités spatiales du champ dues à l'interférence des ondes qui subissent une rétrodiffusion sur différents secteurs d'un versant montagneux. Ces disparités provoquent des diminutions du gain d'antenne, lorsque les dimensions angulaires de la surface de diffusion sont plus grandes que celles du diagramme d'antenne.

Lors de la réception d'un signal à large bande, on observe fréquemment d'importantes distorsions sélectives en fréquence, dues au fait que les composantes du signal diffusé ont des temps de propagation très inégaux. Si la surface de diffusion fait partie d'un grand massif montagneux, les distances parcourues peuvent différer de plusieurs dizaines de kilomètres; avec des surfaces de diffusion relativement petites, elles peuvent différer de quelques dizaines de mètres. Lorsque la directivité de l'antenne augmente, les décalages correspondants diminuent.

Le phénomène étudié a un double effet dans la pratique. D'une part, il engendre des interférences indésirables; d'autre part, il permet, dans certains cas, de faire fonctionner des systèmes radioélectriques sur de grandes distances, même lorsque le point de réception se trouve dans une zone d'ombre électromagnétique très dense.

#### 7. Gain d'obstacle

Les crêtes de montagne peuvent abaisser l'affaiblissement de transmission et les évanouissements nettement au-dessous des valeurs auxquelles on pourrait s'attendre avec une diffraction causée par une Terre sphérique lisse. Cela se produit lorsque le trajet

direct n'est pas en visibilité optique, à condition que l'émetteur et le récepteur soient visibles chacun de la crête de la montagne. Ce phénomène est appelé gain d'obstacle. Il est important de préciser, quand on utilise la valeur numérique du gain d'obstacle, s'il s'agit du gain que l'on aurait par rapport au champ calculé sur une Terre sphérique homogène, en ne faisant intervenir que la diffraction et une atmosphère radioélectrique normale (courbes de propagation des Atlas du CCIR), ou si l'on tient compte aussi de la diffusion et de la superréfraction (courbes de la Recommandation 370). Ce dernier cas se présente si l'on a à comparer les propagations sur deux trajets voisins qui ont des distances et des hauteurs d'antenne du même ordre de grandeur, mais dont un seulement est sujet à diffraction sur une crête montagneuse, tandis que l'autre ne franchit pas d'obstacle. Des mesures effectuées dans ces conditions ont confirmé l'existence de tels gains, qui peuvent être de l'ordre de 20 dB [Fukami et autres, 1961; Kirby et autres, 1955].

Des calculs de l'effet d'écran et de gain dus aux obstacles aux hyperfréquences ont été faits au Royaume-Uni [CCIR 1986-1990]. Pour ces calculs, on a pris pour hypothèses un mode de diffraction, un obstacle avec son sommet visible par les deux terminaux s'étendant transversalement par rapport au sens de propagation d'un trajet par ailleurs sur une surface terrestre lisse, des longueurs de trajet de 75 à 150 km, des fréquences de 1, 4, 10 et 20 GHz et des facteurs  $k$  de 4/3, 2 et 5. Pour des hauteurs pratiques d'antenne et des hauteurs d'obstacle de 20 à 100 m, l'effet d'écran est bien souvent perdu quand la distance entre l'obstacle et le récepteur dépasse 2 km environ. Quand cette distance est inférieure, par exemple, à 0,5 km, l'effet d'écran augmente avec la hauteur de l'obstacle, mais cela n'est pas nécessairement vrai pour de plus grandes distances. De plus, contrairement au cas d'un trajet sur une surface terrestre lisse, l'affaiblissement sur le trajet avec obstacle ne dépend pas beaucoup de la fréquence ou de la valeur de  $k$ .

### ANNEXE I

#### Modèle de prévision de l'affaiblissement de transmission en terrain forestier avec collines

##### 1. Introduction

Le modèle semi-empirique décrit ci-après [Blomquist et Ladell, 1975; Ladell, 1986; Ladell et autres, 1987] a été élaboré pour la gamme de fréquences comprises entre 30 et 1 000 MHz. Il est présenté ici à titre d'exemple. Ce modèle a été mis à l'épreuve sur plus de dix ans au cours d'essais effectués en Suède. De plus, soumis à des comparaisons en Allemagne [Grosskopf, 1987], il a donné le meilleur écart type dans la gamme des ondes métriques sur les 11 modèles examinés. Une autre comparaison avec cinq modèles a été faite au Canada [Delisle et autres, 1985].

Ce modèle est destiné à une utilisation sur ordinateur et tire les renseignements nécessaires concernant le terrain et la végétation d'une base de données sur les caractéristiques du terrain. Il se compose de plusieurs modèles de propagation de base réunis par une seule fonction empirique de raccordement.

## 2. Modèles de propagation de référence pour un terrain boisé vallonné

### 2.1 Modèle de Terre sphérique lisse

En supposant négligeables les irrégularités du terrain, on considère une Terre sphérique lisse en appliquant la méthode décrite au § 3 du Rapport 715 pour calculer un facteur de propagation  $F_s$ . (Dans ce modèle, le terme "facteur de propagation" est le rapport entre le champ et le champ en espace libre sur la même distance.)

### 2.2 Diffraction par des obstacles du terrain

Dans le cas de diffraction par des obstacles du terrain, tels que collines et montagnes, on dispose de nombreuses méthodes différentes qui conduisent à des résultats plus ou moins fiables. Nous nous bornerons ici à discuter des modèles de diffraction d'Epstein et Peterson [1953] et Deygout [1966] tant pour leur simplicité que pour leur précision dans le cas de terrain très accidenté.

Si on suppose négligeable la réflexion au sol, on peut calculer le facteur global de propagation, en dB, comme la somme des facteurs de propagation pour chacun des obstacles. Dans le cas de trois obstacles, cela signifie que le facteur de propagation pour la diffraction peut s'écrire :

$$F_D = F(v_1) + F(v_2) + F(v_3) \quad (1)$$

où  $F(v)$  est le facteur de propagation par diffraction de Fresnel-Kirchoff bien connu pour une arête en lame de couteau parfaitement absorbante, qui peut être calculé comme indiqué au § 4.1 du Rapport 715.

### 2.3 Modèle d'affaiblissement dû à la végétation

Le modèle proposé d'affaiblissement dû à la végétation a été mis au point en se fondant sur des résultats empiriques, surtout parce que le modèle d'onde latérale bien connu [Tamir, 1977] n'est valable que pour un domaine limité de fréquences.

On caractérise la forêt entre l'émetteur et le récepteur par deux paramètres: la densité de végétation  $\rho$  (%) et le pourcentage d'arbres  $\eta$  (%) sur le trajet de propagation. La densité de végétation est une mesure du nombre d'arbres par unité de surface et de leur diamètre moyen. Les résultats empiriques, sur lesquels est fondé ce modèle de végétation, ont été obtenus dans une forêt dense moyenne en Suède pour laquelle  $\rho_0 = 100\%$  et le pourcentage moyen d'arbres, déduit de la base de données topographiques, est  $\eta_0 = 75\%$ .

L'affaiblissement dû à la végétation (dB) dans le cas d'un modèle de Terre sphérique, fonction de la fréquence (MHz) et de la distance (km) est désigné par  $V(f,d)$  et peut être calculé d'après la relation

$$V(f,d) = V_0(f,d) \left( \frac{\eta}{\eta_0} \right) \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right) \quad (\text{en polarisation} \quad (2)$$

$$\text{où} \quad \left\{ \begin{array}{l} -29,6 + 9,8 \cdot \log_{10} f + 45 \cdot \log_{10} d \cdot (\log_{10} f - 2) \\ 46 - 15,5 \cdot \log_{10} f + 45 \cdot \log_{10} d \cdot (\log_{10} f - 2) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{horizontale)} \\ \text{verticale)} \end{array} \quad (3a)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_0(f,d) = \\ \left\{ \begin{array}{l} -29,6 + 9,8 \cdot \log_{10} f + 45 \cdot \log_{10} d \cdot (\log_{10} f - 2) \\ 46 - 15,5 \cdot \log_{10} f + 45 \cdot \log_{10} d \cdot (\log_{10} f - 2) \end{array} \right. \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(en polarisation} \\ \text{verticale)} \end{array} \quad (3b)$$

en supposant que la fréquence est comprise entre 100 et 1000 MHz et que les antennes sont situées à une hauteur inférieure à celle du faite des arbres. Pour  $d \leq 2$  km,  $V_0$  doit être calculé pour une distance de 2 km et le résultat en dB multiplié par 0,5 d. Pour  $d > 20$  km, c'est la valeur calculée pour une distance de 20 km qui doit être utilisée.

### 3. Modèle d'affaiblissement de transmission et fonction de raccordement

Supposons en premier lieu qu'il n'y a pas de végétation. On peut alors, pour les fréquences très basses, négliger les irrégularités de terrain et, l'affaiblissement de transmission de référence est donné par le modèle de Terre sphérique lisse. L'autre cas extrême est celui des fréquences très élevées lorsque la diffraction par les collines et les montagnes est le mécanisme prédominant. Pour un profil de terrain donné, ces deux cas fournissent les valeurs extrêmes pour les fréquences hautes et basses respectivement. Pour établir un modèle de prévision couvrant la gamme de fréquences concernées, il faut spécifier une fonction de raccordement en fonction des facteurs de propagation de ces deux cas extrêmes.

Cette fonction de raccordement est le facteur de propagation, exprimé en dB, et égal à l'opposé de la racine carrée de la somme des carrés des facteurs de propagation pour une Terre sphérique lisse et pour la diffraction :

$$F_R = - (F_S^2 + F_D^2)^{1/2} \quad \text{dB} \quad (4)$$

Ce modèle en racine carrée donne toujours un facteur de propagation (dB) plus petit que l'une ou l'autre des deux composantes calculées. C'est un modèle semi-empirique dont la valeur asymptotique aux fréquences basses est donnée par le modèle de Terre sphérique lisse et la valeur asymptotique aux fréquences élevées est donnée par le modèle de diffraction conformément à l'hypothèse. On peut maintenant y inclure les effets de la végétation pour obtenir le modèle final de prévision pour le facteur de propagation ou l'affaiblissement de propagation (dB). Ces équations peuvent s'écrire

$$F = F_R - V \quad (\text{où } F \leq F_R) \quad \text{et} \quad L_b = L_{b0} - F_R + V \quad (5)$$

où

$$L_{b0} = 20 \cdot \log_{10} (4 \pi d / \lambda) = \text{affaiblissement en espace libre.}$$

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASSIS, M. S. [mars 1971] A simplified solution to the problem of multiple diffraction over rounded obstacles. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-19, 292-295.
- ASSIS, M. S. [1981] Effect of lateral profile on diffraction by natural obstacles. Open Symposium of Mathematical Models of - R 715  
Radio Propagation, XXth General Assembly of URSI, Washington, DC, Etats-Unis d'Amérique.
- BARRICK, D. E. [1971] Theory of HF and VHF propagation across the rough sea. *Radio Sci.*, Vol. 6, 5, 517-526. - R 236
- BLOMQUIST, Å. et LADELL, L. [1975] Prediction and calculation of transmission loss in different types of terrain. - R 715  
INCE, A. N., Ed. Electromagnetic wave propagation involving irregular surfaces and inhomogeneous media. AGARD  
Conf. Proc., N° 144, article 32.
- BULLINGTON, K. [octobre, 1947] - Radio propagation at frequencies above 30 Mc/s. *Proc. of the IRE*, Vol. 35, pp. 1122-1136.
- CAUSEBROOK, J.H. [1978] - Medium Waves Propagation in built-up areas. *Proceedings IEE*, Vol 125, No. 9, 804-808.
- DELISLE, G.Y., LEFEVRE, J.P., LECOURS, M. et CHOUINARD, J.Y. [1985] - Propagation loss prediction: a comparative study with application to the mobile radio channel, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. VT-34, No. 2, pp. 86-96.
- DEYGOUT, J. [Juillet 1966] Multiple knife-edge diffraction of microwaves. *IEEE Trans. Ant Prop.*, - R 215  
Vol. AP-14, 480-489.
- ENGDahl, G. [1982] - Ott - A computer-aided ground-wave model for the VHF range in hilly terrain with varying ground characteristics (en suédois), Research Institute for National Defence, Dept. 3, Report C30265-E2.

EPSTEIN, J. et PETERSON, D.W. [1953] - An experimental study of wave propagation at 850 Mc, *Proc. IRE*, 41, pp. 595-611.

FUKAMI, T. et autres [décembre 1961] Propagation measurements on long mountain diffraction paths, etc. *Elec. Comm. Labs. Tech. J.* (Japon), Vol. 10, 2430. - R 236

GIOVANELLI, C.L. [mars 1984] - An analysis of simplified solutions for multiple knife-edge diffraction, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-32, No. 3, pp. 297-301.

GROSSKOPF, R. [juillet 1987] - Comparison of different methods for the prediction of field strength in the VHF range, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-35, No. 7, 852-859.

GROSSKOPF, R. [1988] - Comparison of the accuracy of methods used to predict the field strength in the UHF range, *EBU Technical Review*, (à paraître).

HANSEN, P. [1977] Measurements of basic transmission loss for HF ground-wave propagation over seawater. *Radio Sci.*, - R236 12, 397-404.

JOSEPHSON, B. et BLOMQUIST, Å. [1958] The influence of moisture in the ground, temperature and terrain on ground-wave propagation in the VHF band. *IRE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-6, 169. R236

KIRBY, R. S., DOUGHERTY, H. T. et McQUATE, P. L. [1955] Obstacle gain measurements over Pikes Peak at 60 to 1046 Mc. *Proc. IRE*, Vol. 43, 10, 1467-1472. R236

LADELL, L., [1986] - Transmission loss predictions in wooded terrain, Conference Proceedings "NRS 86; Nordic Radio Symposium", Saltsjöbaden, Suède

LADELL, L., ASP, B. et NILSSON, S., [avril 1987] - Transmission loss and service area predictions in hilly woodland, IEE Conference proceedings 274, ICAP 87, pp. 81-84.

OTT, R. H. [1971] An alternative integral equation for propagation over irregular terrain, 2. *Radio Sci.*, Vol. 6, 4, 429-435.

OTT, R. H., VOGLER, L. E. et HUFFORD, G. A. [1979] NTIA Rep. 79-20, Ground-wave propagation over irregular, inhomogeneous terrain. NTIS Access N° PB 298 668/AS. National Technical Information Service, Springfield, Va. 22161, Etats-Unis d'Amérique.

SAXTON, J. A. et LANE, J. A. [mai 1955] VHF and UHF reception. *Wireless-World*, Vol. 61, 5, 229-232.

TAMIR, T. [juillet 1977] Radio wave propagation along mixed paths in forest environments. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-25, 471-477.

TROITSKY, V. N. [1975] Diffraction des hyperfréquences causée par les crêtes montagneuses avec des irrégularités aléatoires. Publication d'articles *Rasprostranenie radiowoln.* (Propagation des ondes radioélectriques), (en russe) Nauka, 2.

TROITSKY, V. N. [1976] Vliyaniye snejnovo na difraktsionnoye pole UKW v teni gornykh khrebtov. (Effet de la couverture neigeuse sur le champ rayonné par les ondes ultra-courtes dans l'ombre des crêtes montagneuses). *Radiotekhnika i Elektronika*, Vol. 21, 6, 1222. Edition en langue anglaise: *Radio Eng. Electron. Phys.*, Vol. 21 (1977), 6, 58.

TROITSKY, V. N. [1977] Diffusion par diffraction des hyperfréquences causée par les crêtes montagneuses. Proc. Commission F, symposium de l'URSI, La Baule, France.

TROITSKY, V.N. [1986] "Obratnoe rasseyanie voln diapazonov OVCh, UVCh i SVCh sklonami gornyykh vershin i khrebtov" (Rétrodiffusion dans les bandes d'ondes métriques, décimétriques et centimétriques, causée par les pentes des chaînes et des sommets montagneux), Elektrosviaz, N° 7, 48-51.

VOGLER, L. E. [1982] An attenuation function for multiple knife-edge diffraction. *Radio Sci.*, Vol. 17, 6, 1541-1546.

WAIT, J. R. [1970] *Electromagnetic waves in stratified media* (2<sup>e</sup> édition), Pergamon Press, MacMillan, New York, NY, Etats-Unis d'Amérique.

WHITTEKER, J. [Janvier, 1988] - Diffraction over multiple rounded obstacles, National Radio Science Meeting, Boulder, CO, Etats-Unis d'Amérique.

### Documents du CCIR

[1986-90]: 5/213 (Royaume-Uni)

---

### RAPPORT 336-3\*

### PROPAGATION SUR LA LUNE ET DÉFINITION DE SON AIRE RADIOÉLECTRIQUEMENT CALME

(Programme d'études 7B/2)

(1966-1974-1982-1986)

Le texte de ce Rapport est maintenu mais non réimprimé. Il se trouve dans le Volume V, Dubrovnik, 1986.

---

\* Le présent Rapport doit être porté à l'attention de la Commission d'études 2.

