

Library

UNIVERSITÉ LAVAL,
Faculté des Sciences et de Génie,
Département de Génie Électrique,
LABORATOIRE de TĒLĒCOMMUNICATIONS.

RAPPORT FINAL

Etude des problèmes de propagation associés
aux stations émettrices et mobiles terrestres
en milieu urbain

par

Gilles Y. Delisle et Michel Lecours

pour

Gouvernement du Canada
Ministère des Communications, Ottawa

sous

Contrat OSU78-00243 du Ministère
des Approvisionnements et Services

Période du 24 octobre 1978 au 31 mars 1979

Mars 1979

Rapport n° LT-79-8229

P
91
C655
E895
1979

IC

P
91
C655
E895
1979

RAPPORT FINAL

15 ETUDE DES PROBLEMES DE PROPAGATION ASSOCIES
AUX STATIONS EMETTRICES ET MOBILES TERRESTRES
EN MILIEU URBAIN

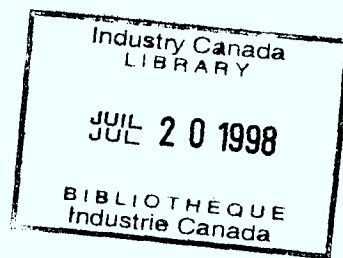
Par : Dr Gilles Y. Delisle, Chercheur principal
Dr Michel Lecours, Collaborateur

Laboratoire de Télécommunications
Département de Génie Electrique
Université Laval, Québec, Canada G1K 7P4

Pour : Ministère des Communications, Ottawa

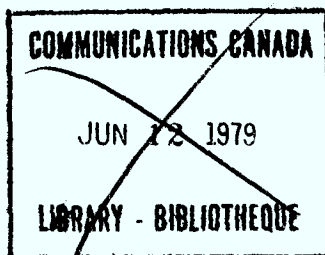
Contrat OSU78-00243 du Ministère des
Approvisionnementnements et Services

Durée : 24 octobre 1978 - 31 mars 1979



Mars 1979

Rapport n° LT-79-8229



P
91
C 655
E 895
1979

DD 4248510
DL 4293915

Table des matières

Chapitre 1	INTRODUCTION	1.
Chapitre 2	CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA PROPAGATION DES ONDES VFH ET UHF	4.
2.1	Niveau du signal reçu en un point en fonction du temps	5.
2.2	Niveau du signal reçu à un moment donné en fonction du lieu	6.
2.3	Niveau du signal reçu en fonction des effets conjointes du temps et du lieu	7.
2.4	Résumé et résultats complémentaires	8.
Chapitre 3	ESTIMATION DU NIVEAU DES SIGNAUX VHF ET UHF EN MILIEU URBAIN	10.
3.1	Techniques de prédiction basées sur une connais- sance statistique du milieu urbain	11.
3.2	Techniques de prédiction basées sur une certaine caractérisation quantitative du milieu urbain	16.
3.2.1	Approche de Allsebrook et Parsons	17.
3.2.2	Approche de Kozono et Watanabe	21.
3.3	Effet détaillé des édifices	24.
Chapitre 4	PERTES A L'INTERIEUR DES EDIFICES ET EFFETS DE LA VEGETATION	27.
4.1	Introduction	27.
4.2	Niveau du signal à l'intérieur des édifices	27.
4.3	Effets de la végétation	31.
Chapitre 5	CONCLUSION	41.
	Bibliographie	43.
Appendice I	Le système AMPS	46.
Appendice II	Etat du développement actuel de la radiotélépho- nie mobile terrestre de grande capacité au Japon ...	48.
Appendice III	Résultats complémentaires	50.
Appendice IV	Bibliographie complète	54.

Chapitre 1

INTRODUCTION

De nombreuses études ont été faites sur les problèmes complexes associés à l'estimation statistique et au calcul détaillé de l'intensité du signal reçu pour un parcours donné dans les bandes de fréquences VHF/UHF et ont permis l'élaboration de méthodes d'estimation relativement précises.

On peut se référer, pour un bon exemple de l'état de l'art, à la description de F.H. Palmer [1] du programme pour le calcul des conditions de propagation aux fréquences UHF et VHF, mis au point au CRC: il est constitué d'un ensemble de sous-programmes qui, à partir de données topographiques et autres, permettent le calcul détaillé de l'intensité du signal en propagation libre, sur terrain irrégulier, etc. Le programme inclut l'évaluation de l'influence de la diffraction sur des édifices dans le voisinage de la station de transmission et une estimation statistique de l'influence du milieu urbain.

Le but spécifique de cette recherche est de faire une étude préliminaire des problèmes de propagation en milieu urbain dans les bandes de fréquences VHF et UHF. Cette étude comprend une recherche bibliographique poussée et une analyse des principaux problèmes soulevés par la modélisation des conditions de propagation en milieu urbain. Une attention particulière est portée aux méthodes susceptibles d'être utilisées pour l'introduction des effets perturbateurs des édifices dans un modèle.

Une recherche bibliographique exhaustive a été complétée et un grand nombre de travaux pertinents, environ 305, ont été rassemblés.

Suite à une étude sérieuse de l'ensemble de ces références, plusieurs publications de travaux d'intérêt immédiat ont été sélectionnées: un bon nombre de travaux récents portent sur la propagation des ondes aux

fréquences VHF et UHF, et quelques-uns ont trait spécifiquement aux conditions de propagation en milieu urbain.

Une étude détaillée de ces travaux récents fait ressortir les points suivants:

- au niveau de ce qu'on pourrait appeler la "macro-analyse" des conditions de propagation en milieu urbain, c'est-à-dire au niveau des méthodes qui sont présentement utilisées [1] et qui sont basées non sur une connaissance réelle de certaines données topographiques caractéristiques d'un milieu urbain donné mais sur un lissage statistique d'un petit nombre de coefficients (Egli, 1957), les possibilités d'amélioration semblent se limiter à l'obtention de meilleures données statistiques: ceci impliquerait un certain nombre de campagnes de mesure dans des milieux urbains du genre de celles réalisées par Ott et Plitkins [2] et par Kelly [3], à partir desquelles le rapport tire un certain nombre de conclusions;
- des travaux récents de Allsebrook et Parsons [4] et de Kozono et Watanabe [5] indiquent qu'il est possible de remplacer la méthode d'approximation statistique mentionnée ci-dessus par une analyse de complexité intermédiaire. Dans le cas de Kozono et Watanabe, il suffit de spécifier pour des secteurs donnés le pourcentage de la surface de terrain occupée par des bâtiments, ou encore le volume d'occupation des bâtiments. Allsebrook et Parsons font appel pour leur part à un concept de largeur effective d'une rue associé à certains facteurs de correction. La complexité supplémentaire reliée à ces méthodes n'apparaît pas prohibitive et ce rapport recommande leur utilisation, lorsque les données sont disponibles;
- en ce qui concerne la possibilité de ce qu'on pourrait appeler la "micro-analyse", c'est-à-dire le calcul du niveau du signal reçu à partir d'une connaissance détaillée des lieux et en tenant compte des principales causes de diffraction et de réflexion, il semblerait que, à toutes fins pratiques, tout reste à faire; bien qu'un certain nombre de chercheurs se soient intéressés à cet aspect des choses [6,7], les résultats actuels sont très fragmentaires et ne semblent pas pouvoir être utilisés de façon pratique, sauf dans des cas très particuliers. Le rapport recommande qu'on se limite, pour l'instant, à se

préoccuper de l'effet des édifices dans le voisinage des stations de transmission, dont l'effet peut être majeur.

La recherche bibliographique a permis d'identifier un certain nombre d'études sur des sujets connexes: propagation multivoie, atténuation à l'intérieur des édifices, effet de la végétation, etc.

On trouvera dans la deuxième section de ce rapport un bref exposé portant sur l'état actuel des connaissances en propagation des ondes VHF et UHF sur le terrain.

La section suivante s'attache particulièrement à l'estimation du niveau du signal en milieu urbain et comprend des suggestions quant à des voies à considérer pour améliorer les algorithmes disponibles au CRC pour le calcul des conditions de propagation aux fréquences VHF et UHF.

Des sections ultérieures du rapport traitent de l'effet de la végétation et de l'atténuation à l'intérieur des édifices.

Ce rapport comprend également plusieurs appendices:

L'appendice I présente un court aperçu des recherches et des développements en cours aux Laboratoires Bell, au New Jersey. On s'attache en particulier aux études reliées au développement du système AMPS (Advanced Mobile Phone Service) auquel le Bell System Technical Journal de janvier 1979 est entièrement consacré.

L'appendice II donne un bref aperçu du système de téléphone mobile opérant dans la bande de 800 MHz, qui est actuellement dans sa phase d'implantation au Japon et dont certains éléments ont été décrits dans le numéro de novembre 1978 des Transactions de l'IEEE sur la technologie véhiculaire.

Une grande part de l'intérêt porté à ces deux systèmes provient du fait que leur conception et leurs caractéristiques sont une conséquence directe des nombreuses études sur la propagation des ondes VHF et UHF en milieu urbain qui ont été réalisées au cours des dernières années.

L'appendice III contient un bref exposé de quelques calculs numériques faits dans le cadre de ce contrat à partir des résultats publiés par Kozono et Watanabe [5].

L'appendice IV comprend une bibliographie complète des ouvrages identifiés et considérés dans le cadre de ce travail.

Chapitre 2

CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA PROPAGATION DES ONDES VHF ET UHF

Les caractéristiques de la propagation des ondes VHF et UHF ont fait l'objet d'un nombre croissant d'études et de mesures au cours des dernières années. On peut distinguer, d'une part, les études qui portent sur les conditions de propagation à une fréquence donnée et dont les résultats s'appliquent de façon plus immédiate aux systèmes de communication à largeur de bande limitée, en particulier à la transmission analogique de la voix; il y a, d'autre part, les études sur la propagation à large bande, sur la transmission d'impulsions et sur la description statistique du signal reçu en fonction de paramètres tels que la distribution de l'amplitude et du délai.

Ce rapport porte essentiellement sur les caractéristiques connues des conditions de propagation à une fréquence donnée et s'applique donc de façon plus immédiate aux systèmes de communication à largeur de bande limitée.

Dans ce cadre, les investigations qui ont été faites et les résultats disponibles portent essentiellement sur la distribution du niveau du signal reçu. Conceptuellement, on peut distinguer trois types de questions auxquelles on aimerait apporter une réponse:

1. Quelles sont les caractéristiques statistiques du niveau du signal reçu en un point fixe en fonction du temps ?
2. Quelles sont les caractéristiques statistiques du niveau du signal reçu à un moment donné en fonction du lieu à l'intérieur d'une certaine zone ?
3. Quelles sont les caractéristiques du niveau du signal reçu en fonction des effets conjoints du temps et du lieu ?

Après une recherche bibliographique exhaustive, qui a permis

d'identifier près de 305 références d'intérêt qui sont citées en appendice, une étude sérieuse de l'ensemble de ces références a permis de sélectionner un certain nombre de travaux majeurs, dont plusieurs sont récents.

L'étude de l'ensemble de ces travaux permet de décrire l'état des connaissances actuelles et de tenter de répondre aux questions posées ci-dessus.

2.1 NIVEAU DU SIGNAL REÇU EN UN POINT EN FONCTION DU TEMPS

Cet aspect a fait l'objet d'études depuis fort longtemps car il affecte directement les spécifications de fiabilité des systèmes radio-communication micro-onde. Dans ce type de système, le terrain lui-même n'entre pas en ligne de compte à cause de la hauteur des antennes et le seul phénomène à considérer est celui de la propagation multivoie engendrée, le plus souvent, par des phénomènes d'inversion de température, des variations et des discontinuités dans l'indice de réfraction atmosphérique.

On peut citer à cet égard les expériences classiques de Crawford et Jakes [8] qui avaient pour but de mesurer le nombre de voies distinctes arrivant à une antenne directionnelle et leur angle d'incidence dans le plan vertical. En théorie, l'addition d'un grand nombre de composantes de distribution d'amplitude gaussienne et de distribution de phase uniforme donnerait comme résultat un signal dont l'amplitude suivrait une distribution de Rayleigh. On observe en pratique que, même avec un petit nombre de composantes, le signal résultant de la propagation multivoie suit la distribution de Rayleigh: il suffit de deux composantes d'amplitude égale et en opposition de phase pour obtenir une annulation du signal résultant.

Les observations suivantes semblent pertinentes:

- ces variations d'amplitude, tout comme les phénomènes atmosphériques qui leur donnent naissance, se produisent relativement lentement dans le temps (on peut parler de minutes). Le canal de transmission est donc, à toutes fins pratiques, stationnaire et la connaissance du niveau d'atténuation est suffisante pour estimer la qualité de la transmission pour un système à faible largeur de bande.
- pour un signal à large bande, la situation est beaucoup plus complexe

car la longueur des différents parcours qui constituent la propagation multivoie se traduit par un déphasage différent selon la fréquence: l'influence de la propagation multivoie sur les systèmes à large bande est en soi un domaine actuel de recherche.

Il semblerait normal de conclure que les mêmes observations s'appliquent aux systèmes qui ont des antennes situées près du sol ou dans le voisinage d'obstacles, comme en communication mobile en terrain ouvert ou en milieu urbain: sauf qu'il faut ajouter les phénomènes de diffraction et de réflexion sur les obstacles. En autant que les antennes et les obstacles sont fixes, ils ne devraient pas affecter sensiblement l'évolution dans le temps.

En un point donné, le niveau du signal reçu aura une distribution de Rayleigh, les variations dans le temps se produisant sur une échelle de temps de l'ordre de la minute.

2.2 NIVEAU DU SIGNAL REÇU A UN MOMENT DONNE EN FONCTION DU LIEU

La présence d'un réflecteur (obstacle naturel ou édifice) donne lieu à la naissance d'un patron d'onde stationnaire dont les minima sont situés à une distance de $\lambda_p/2$ dans une direction donnée (λ_p : longueur d'onde de la porteuse). Une antenne qui traverse ce champ d'onde stationnaire dans cette direction rencontrera donc un minimum tous les $\lambda_p/2$ de distance; si l'antenne traverse le champ obliquement, la distance entre les minima sera plus grande, de façon inversement proportionnelle au cosinus de l'angle de la traversée. On peut se référer à Ossana [9] pour une analyse détaillée qui tient compte de la géométrie complète du problème (direction du déplacement de l'antenne de réception, orientation de l'antenne de transmission, orientation du plan réflecteur); cependant, pour fixer les idées, on peut voir qu'il est possible de rencontrer un minimum tous les mètres à 150 MHz, tous les .5 mètres à 300 MHz et tous les .25 mètres à 600 MHz. Pour un véhicule se déplaçant à une vitesse de 10 ou 20 mètres/seconde, on conviendra qu'il s'agit là d'une variation rapide dans le cas de la transmission d'un signal vocal analogique, quoiqu'elle soit encore lente par rapport au taux de transmission d'un système numérique vocal (digital voice channel).

Les investigations de diverses sources et, en particulier, celles d'Okumura [10], montrent que la distribution du niveau du signal reçu suit une loi de Rayleigh jusqu'à une profondeur d'atténuation maximale d'une trentaine de dB. Ceci est le cas si on prend des mesures pratiquement instantanées (en-dedans de quelques secondes) à l'intérieur de petites zones de 10 à 20 mètres de diamètre: ces zones sont suffisamment petites pour être considérées comme des régions homogènes soumises à l'influence des mêmes obstacles et réflecteurs.

Si on se déplace d'une de ces petites zones à une autre, le niveau médian de l'atténuation variera en fonction des caractéristiques du terrain. Selon la loi des grands nombres, on s'attendrait à ce que l'ensemble des valeurs médianes de l'atténuation sur un grand nombre de petites zones tende vers une distribution normale (ou log-normale si l'atténuation est exprimée en dB), et c'est d'ailleurs ce que confirment les résultats expérimentaux: il s'agit là cependant d'un résultat qui s'applique à un grand nombre de mesures.

2.3 NIVEAU DU SIGNAL REÇU EN FONCTION DES EFFETS CONJOINTS DU TEMPS ET DU LIEU

L'état actuel des connaissances ne permet pas de distinguer très clairement entre les effets dus au temps et ceux dus au lieu; ou, du moins, il ne semble pas qu'une étude complète qui fasse une synthèse des connaissances à ce sujet soit disponible.

Les mesures qui ont été prises en un lieu fixe ne dépendent certainement pas du déplacement; les mesures qui ont été prises dans l'espace, sur un véhicule qui se déplace par exemple, dépendent peut-être du temps car il n'est pas certain que l'on élimine totalement la dépendance du temps en prenant la médiane d'une distribution de probabilité d'atténuation sur un parcours. En l'absence d'indications le moins certaines sur la corrélation ou la non-corrélation entre la probabilité d'affaiblissement en un point fixe en fonction du temps [$P_A(t)$] et la probabilité d'affaiblissement à un moment donné en fonction du déplacement dans l'espace [$P_A(x)$], on peut supposer le pire cas, c'est-à-dire que les deux probabilités sont indépendantes. La probabilité conjointe $P_A(x,t)$ correspond alors au produit des deux probabilités simples.

2.4 RESUME ET RESULTATS COMPLEMENTAIRES

Dans un article récent (octobre 1977), Kozono et Watanabe [5] résument l'état actuel des connaissances en ce qui concerne les conditions de propagation à une fréquence donnée en fonction de l'espace:

- i) il y a d'une part les *variations instantanées* dues à la présence d'un patron d'ondes stationnaires et qui amènent des variations de champ de l'ordre de 20 à 30 dB, suivant une loi de Rayleigh:
- ii) il y a d'autre part le *niveau médian* du signal reçu dans une *petite zone* de 10 à 20 mètres de diamètre et qui suit en général une distribution log-normale;
- iii) il y a enfin le *niveau médian* du signal dans une *zone d'étendue moyenne* (1 à 2 km). Contrairement à ce qui se passe pour les items i et ii ci-dessus, pour lesquels on ne peut qu'estimer les caractéristiques statistiques du niveau du signal, l'état de l'art permet dans ce dernier cas de prédire le niveau du signal de façon déterministe: les paramètres à considérer sont la fréquence d'opération, la puissance irradiée, la hauteur et la directivité des antennes, leur écartement et les caractéristiques du terrain. Ce dernier item, les caractéristiques du terrain, fera l'objet d'une plus longue discussion dans la suite de ce rapport.

Si l'on s'écarte de cette classification en trois catégories (variation instantanée, niveau médian dans une petite zone de 10 à 20 mètres de diamètre, niveau médian dans une zone d'étendue moyenne de 1 à 2 km de diamètre), on obtiendra des résultats différents ou plutôt, une image différente des mêmes phénomènes: *il semble cependant que les catégorisations définies ci-dessus soient celles qui donnent les résultats les plus fiables et les plus répétitifs*. C'est ainsi par exemple que, dans un article récent (novembre 1977), Shepherd [7] a présenté le résultat de mesures sur la distribution des pertes de transmission dans des zones de 200 mètres: comme on peut le constater dans les figures 2-1 et 2-2, qui sont dues à Kozono et Watanabe et à Shepherd respectivement, et qui sont reproduites ci-après, Shepherd n'arrive pas, contrairement à Kozono et Watanabe, à dégager une conclusion de ses mesures sauf pour déclarer que ces distributions font partie d'une famille très générale de distributions de probabilité, qu'il appelle distribution de Weibull.

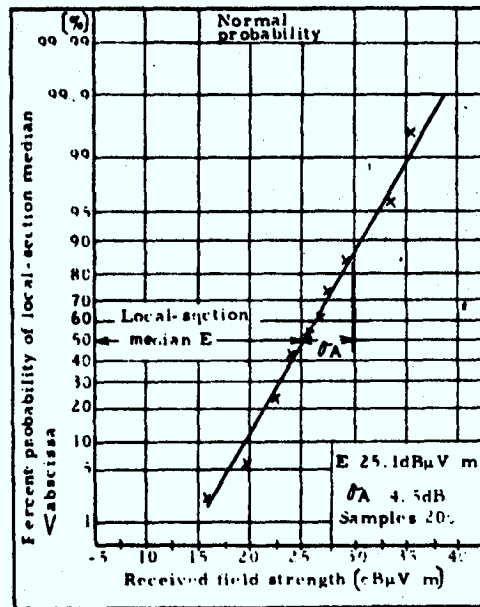


Figure 2-1: Distribution du niveau médian du signal reçu dans des petites zones de 10 à 20 mètres de diamètre (Source: S. Kozono, K. Watanabe [5]).

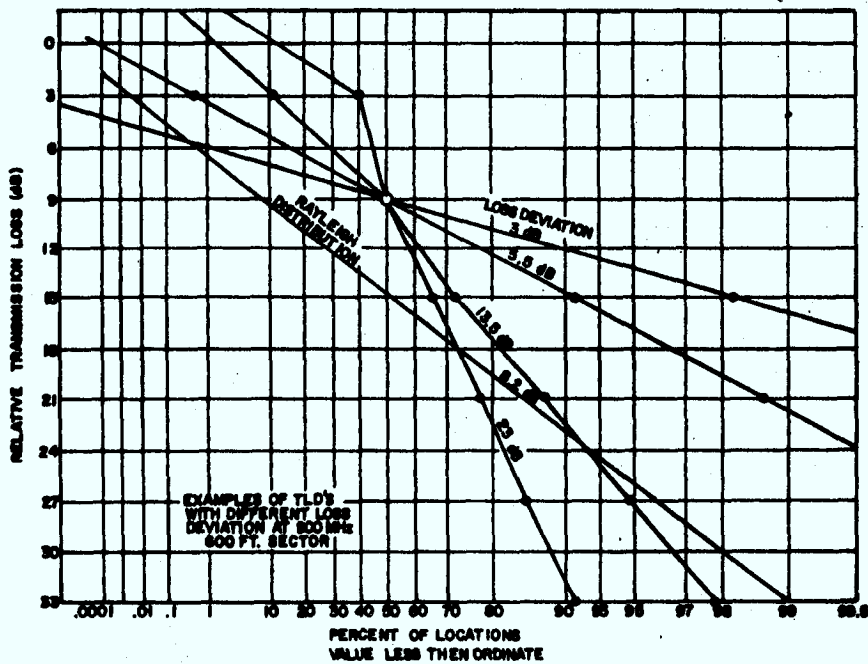


Figure 2-2: Distribution du niveau du signal reçu dans des secteurs de 200 mètres (Source: N.H. Shepherd [7]).

Chapitre 3

ESTIMATION DU NIVEAU DES SIGNAUX VHF ET UHF EN MILIEU URBAIN

Les résultats généraux résumés dans la section précédente peuvent être appliqués au cas particulier de la propagation des ondes VHF et UHF en milieu urbain dans le but de trouver la meilleure méthode pour l'estimation du niveau du signal.

Puisque ce rapport porte principalement sur les caractéristiques particulières de la propagation en milieu urbain, il suffira de mentionner les techniques qui ont déjà été développées et vérifiées pour l'estimation du niveau du signal en fonction du terrain. On peut se référer en particulier au programme mis au point par F.H. Palmer [1] pour le calcul des conditions de propagation aux fréquences VHF et UHF: il est constitué d'un ensemble de sous-programmes qui permettent le calcul détaillé de l'intensité du signal en propagation libre, sur terrain irrégulier, etc., en fonction de données topographiques précises lorsqu'elles sont disponibles ou en fonction d'une description générale des caractéristiques du terrain; le programme offre la possibilité d'introduire l'effet de la végétation, l'influence de la diffraction des édifices dans le voisinage de la station de transmission, et une estimation statistique de l'influence du milieu urbain. Les techniques tiennent compte des travaux majeurs qui ont été faits dans le domaine, soit des travaux plutôt théoriques sur la propagation et la diffraction des ondes en terrain irrégulier, comme ceux de Longley et Rice [11] et ceux de Deygout [12], soit de résultats basés sur de nombreux tests de propagation comme ceux d'Okumura [10], ou de techniques de traitement de données topographiques (Durkin [13,14,15]), etc.

Il apparaît opportun de distinguer trois niveaux de raffinement possible qui peuvent être considérés pour obtenir un meilleur estimé des

conditions de propagation en milieu urbain, soit:

- une analyse grossière basée sur une connaissance très générale et qualitative du milieu urbain,
- une analyse de complexité intermédiaire basée sur une certaine caractérisation quantitative du milieu urbain,
- une micro-analyse basée sur une connaissance détaillée du milieu urbain.

3.1 TECHNIQUES DE PREDICTION BASEES SUR UNE CONNAISSANCE STATISTIQUE DU MILIEU URBAIN

Les méthodes de prédiction des conditions de propagation en milieu urbain qui sont actuellement utilisées, en particulier au CRC [1], sont basées non sur une connaissance de la topographie et des édifices d'un milieu urbain donné, mais sur un lissage statistique d'un petit nombre de paramètres (Egli, 1957).

Les possibilités d'amélioration se ramènent aux possibilités d'obtenir de meilleures données statistiques, ce qui impliquerait un certain nombre de campagnes de mesure dans des milieux urbains.

Trois articles de parution très récente réfèrent justement à de telles campagnes de mesure. Deux de ces articles, parus en novembre 1978, portent sur les pertes de propagation dans la ville de Philadelphie [2] et dans une région ouverte et plane de sa banlieue [3]; le troisième article, paru en janvier 1979, porte en partie sur les conséquences qu'entraînent certaines caractéristiques de propagation pour le design d'un système radio mobile opérant en milieu urbain [16]. Ces travaux ont été réalisés par les Laboratoires Bell au New Jersey dans le cadre du développement du système AMPS (Advanced Mobile Phone Service).

Dans les deux premiers articles mentionnés [2,3], Ott et Plitkins d'une part et Kelly d'autre part étudient le niveau moyen d'un signal de 800 MHz en ville et en banlieue en fonction, particulièrement,

- de distances allant de 1 à 10 milles entre l'antenne principale (transmission) et l'antenne mobile (réception),
- du gain de modèles différents d'antennes mobiles,
- de la hauteur de l'antenne principale.

Pour le traitement des données, les deux auteurs commencent par faire la moyenne du signal reçu dans des intervalles de quelques mètres correspondant à plusieurs longueurs d'onde à la fréquence utilisée: ce moyennage fait disparaître la fluctuation de type Rayleigh qui est due aux réflexions sur les édifices et, une fois les données ainsi traitées, il ne reste que la distribution log-normale de ce qu'on a appelé à la section 2.2 le niveau médian du signal dans des petites zones adjacentes de quelques mètres de diamètre (voir la discussion de la section 2.2).

On peut tirer de ces deux articles un certain nombre de conclusions:

Le lissage d'une droite selon un critère d'erreur de moindre carré permet dans les deux cas aux auteurs de conclure que le niveau médian du signal à dix milles de l'antenne principale (transmission) est d'environ 38 dB plus bas qu'à un mille: les valeurs exactes citées par les deux auteurs après moyennage de l'ensemble de leurs données sont de -36.8 dB/décade en banlieue et de -38.4 dB/décade en milieu urbain: la force du signal décroît inversement à la distance à la puissance 3.8.

On peut donc conclure que le niveau médian d'un signal de 820 MHz dans des petites zones de quelques mètres de diamètre, niveau qui correspond à la moyenne μ de la distribution log-normale du niveau d'atténuation, décroît avec la distance à un taux d'environ 38 dB/décade entre un mille et dix milles.

En ce qui concerne la déviation standard σ de l'atténuation, elle n'est explicitement mentionnée que par Ott et Plitkins pour le milieu urbain: ils mentionnent une déviation standard de 8.3 dB à un mille décroissant à 7.0 dB à dix milles et concluent qu'il est probablement valide d'utiliser 10 dB comme *limite supérieure de la variation standard* du niveau médian d'atténuation dans des petites zones en milieu urbain, pour une distance donnée de l'antenne principale. Kelly, pour sa part, ne spécifie pas la déviation standard observée en banlieue; cependant, selon la figure 8 de l'article, elle semblerait être inférieure à 5 dB, donc inférieure à ce qui est observé en milieu urbain (comme on le verra plus loin, ce résultat peut se comparer à la valeur de 4.5 dB citée par Kozono et Watanabe pour la dé-

viation standard du niveau du signal dans un ensemble de petites zones adjacentes de 10 à 20 mètres de diamètre).

On conclut donc qu'au niveau médian μ d'atténuation d'un signal de 820 MHz dans des petites zones de quelques mètres de diamètre se superpose une distribution log-normale dont la déviation standard σ serait de 10 dB en ville et de 5 dB en banlieue.

Il n'est pas facile cependant de tirer de ces travaux une conclusion quant au niveau absolu du signal médian reçu. Ott et Plitkins mentionnent, pour la fréquence, les antennes et la puissance utilisées, un niveau moyen de -62.6 dBm en ville à une distance de un mille; Kelly pour sa part mesure dans les mêmes conditions -50.7 dBm en banlieue et conclut avoir un avantage de 11 dB en terrain découvert de banlieue lorsque l'antenne du poste central est suffisamment élevée pour surplomber les obstacles; il mentionne cependant une perte supplémentaire de 16.4 dB lorsque l'antenne de transmission était 100 pieds plus bas et masquée par les édifices.

Nous soupçonnons que les résultats de Ott et Plitkins et ceux de Kelly quant à la valeur absolue du niveau moyen du signal à un mille dépendent beaucoup des obstacles dans le voisinage de l'antenne principale. Nous croyons que leurs résultats peuvent être utilisés comme méthode alternative mais que, lorsque des informations à propos des édifices, arbres et obstacles dans le voisinage sont disponibles, la technique utilisée au CRC (environmental clutter routine) est potentiellement supérieure.

A mesure que des résultats additionnels deviendront disponibles, il sera possible d'obtenir une meilleure évaluation statistique: mentionnons par exemple que des résultats récents pour la ville de Newark dans la région de New York montrent des pertes de quelque 6 dB inférieures à celles mesurées à Philadelphie à une distance de un mille de l'antenne de transmission; cependant le signal décroît plus rapidement avec la distance au taux moyen de 43 dB/décade (référence: AT & T, "High Capacity Mobile Telecommunications System, Developmental System Report, n° 4", March 6, 1978).

Il est utile de reproduire, pour conclure cette section, quelques courbes publiées très récemment (janvier 1979) par Arredondo, Feggeler et

Smith dans le Bell System Technical Journal [16]. Ces figures sont valides pour une fréquence de 820 MHz.

La figure 3-1 illustre le nombre de fois par seconde où un véhicule voyageant à une vitesse donnée traverse un affaiblissement du signal: on voit qu'il s'agit là de variations rapides par rapport au rythme syllabique mais lentes par rapport aux taux de transmission normaux de systèmes numériques.

La figure 3-2 donne la durée moyenne en millisecondes d'un affaiblissement en fonction de la vitesse du véhicule.

La figure 3-3 montre la probabilité d'une atténuation donnée pour un système sans diversité (une seule antenne de réception) et un système ayant deux antennes de réception distantes de quelques quarts de longueur d'onde: il semblerait que cette technique serait adoptée pour le système AMPS.

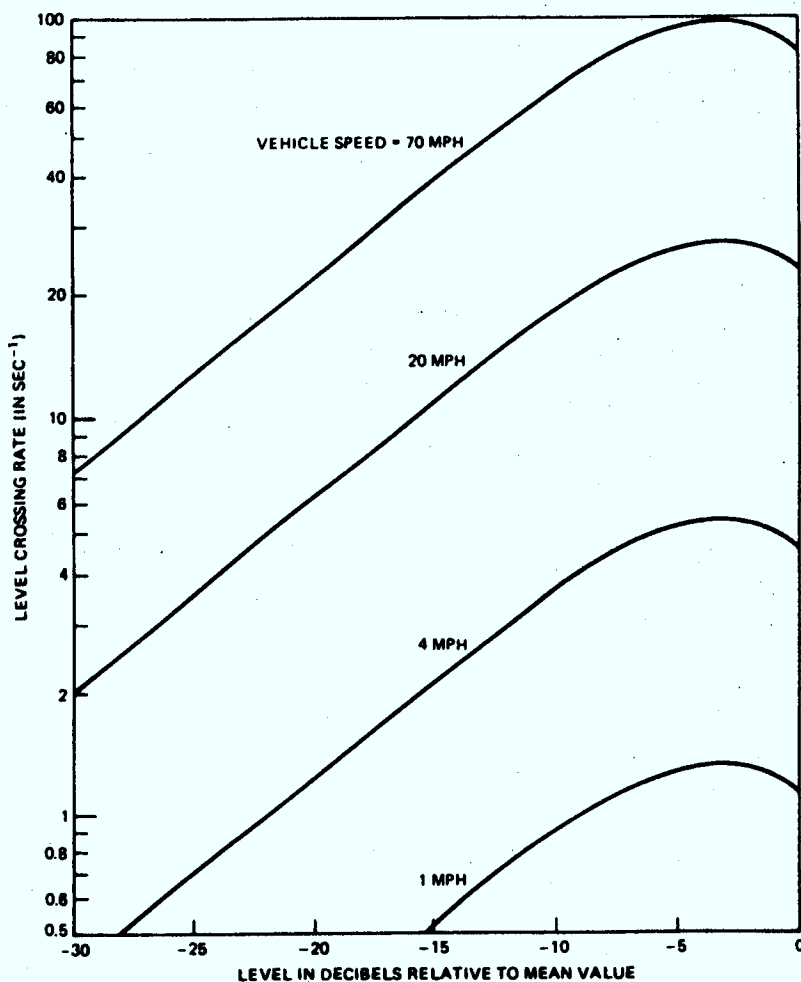


Figure 3-1: Nombre d'affaiblissements par seconde (Source: G.A. Arredondo, J.C. Feggeler, J.I. Smith [16]).

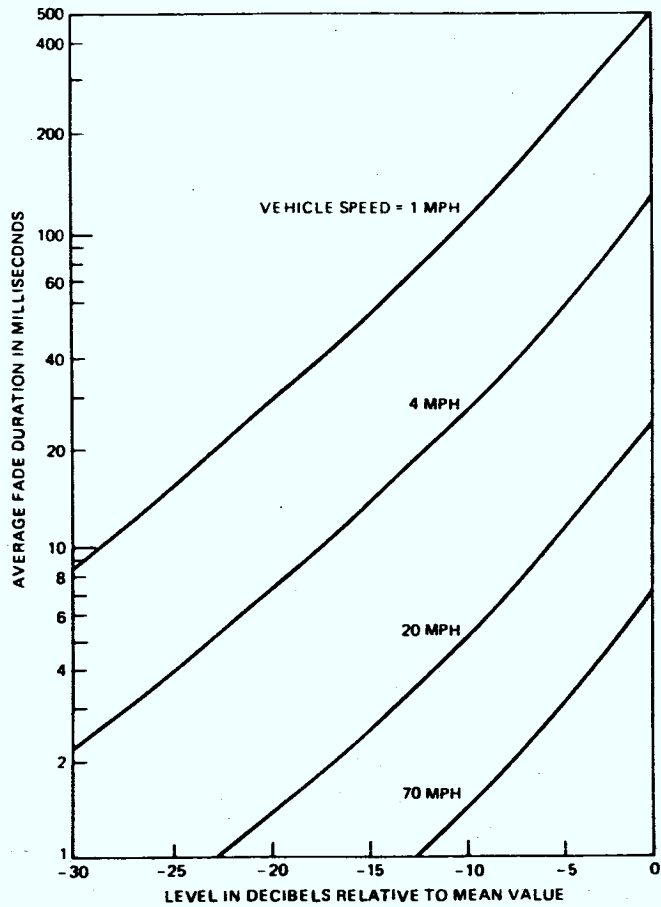


Figure 3-2: Durée moyenne des affaiblissements (Source: G.A. Arredondo, J.C. Feggeler, J.I. Smith [16]).

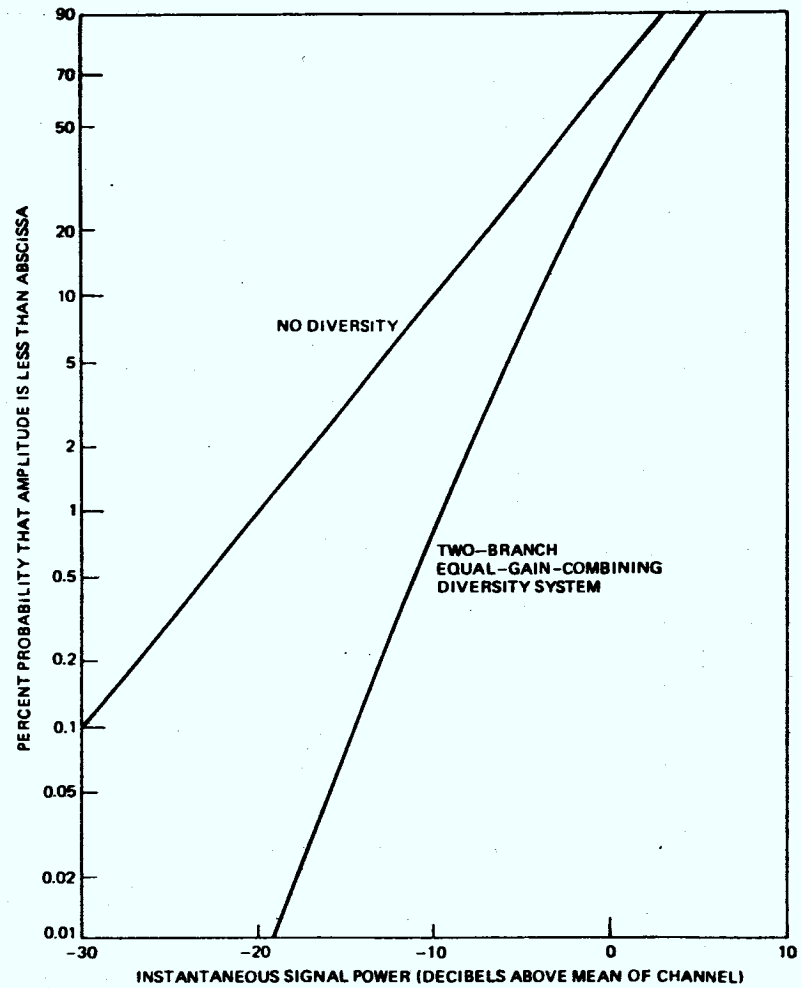


Figure 3-3: Probabilité d'atténuation pour un système sans diversité et avec diversité de réception (Source: G.A. Arredondo, J.C. Feggeler, J.I. Smith [16]).

Pour fixer les idées, on peut conclure qu'à 820 MHz un véhicule se déplaçant à 20 MPH rencontrera un affaiblissement du signal moyen d'au moins 10 dB vingt fois par seconde, d'au moins 20 dB cinq fois par seconde et d'au moins 30 dB deux fois par seconde. Les durées moyennes de ces affaiblissements de 10, 20 et 30 dB seront de 5, 1.5 et 0.5 millisecondes respectivement. La probabilité globale d'une atténuation de 10, 20 ou 30 dB sera de 10%, 1% ou 0.1% pour un récepteur sans diversité, et deviendra de 1%, .01% pour un récepteur avec diversité pour des affaiblissements de 10 et de 20 dB.

3.2 TECHNIQUES DE PREDICTION BASEES SUR UNE CERTAINE CARACTERISATION QUANTITATIVE DU MILIEU URBAIN

Comme on l'a vu, certaines des conclusions exposées à la section précédente seraient facilement applicables à tout environnement urbain, particulièrement en terrain plat: il suffit de spécifier si une région donnée correspond plutôt à la ville ou à la banlieue.

Dans cette section nous allons traiter des possibilités supplémentaires qu'offrirait une certaine caractérisation quantitative du milieu urbain. Par exemple, un code pourrait spécifier un paramètre comme le rapport entre la hauteur des édifices et la largeur moyenne des rues, ou le pourcentage d'occupation du sol par les édifices, ou le volume moyen des édifices dans une zone donnée. Notons d'ailleurs que l'espace pour un tel code est peut-être déjà disponible dans certaines banques de données topographiques: ainsi, la banque de données topographiques utilisée au CRC spécifie pour des carrés de 1 km de côté la hauteur maximale, minimale et moyenne de même qu'un code indiquant la nature générale du terrain.

A priori, la spécification d'une largeur effective des rues ou du pourcentage d'occupation du sol par les édifices ne semble pas présenter un niveau de complexité prohibitif. Une approche en fonction du premier critère (la largeur effective des rues) a été étudiée par Allsebrook et Parsons. Une approche en fonction du pourcentage de l'aire du sol occupée par les édifices a fait l'objet d'études par Kozono et Watanabe. Leurs résultats sont présentés ci-après.

3.2.1 Approche de Allsebrook et Parsons [4].

En suite à de nombreuses mesures prises dans trois villes du Royaume-Uni, Allsebrook et Parsons concluent que les pertes par diffraction sur les édifices dans le voisinage de la station mobile sont importantes, et concluent également à la possibilité de tenir compte, en première approximation, de leur influence par l'ajout d'un terme supplémentaire à un modèle standard de pertes sur le terrain.

Allsebrook et Parsons ont expérimenté leur méthode de prédiction dans trois villes: un grand centre urbain construit en terrain plat (Birmingham), et deux villes plus petites (Bath et Bradford) construites l'une dans une dépression et l'autre sur un terrain très accidenté.

Pour tenir compte des pertes supplémentaires causées par le milieu urbain, Allsebrook et Parsons recommandent d'ajouter au calcul des pertes sur le terrain un facteur

$$L_B + \gamma$$

où L_B représente les pertes par diffraction sur les édifices dans le voisinage de la station mobile

et γ représente un facteur de correction variable selon la fréquence.

Un autre résultat intéressant de leurs études, quoiqu'il ne soit pas relié directement à l'évaluation des pertes en milieu urbain, est que, sans nier que les techniques plus complexes d'évaluation des pertes sur le terrain basées sur des données topographiques précises (Edwards et Durkin, Okumura) donnent de meilleurs résultats, Allsebrook et Parsons concluent que des techniques plus simples sont satisfaisantes. Ils recommandent donc une méthode simplifiée de calcul des pertes:

a) sur terrain plat:

$$\text{Pertes} = L_P + L_B + \gamma$$

où L_P : pertes sur terrain plane selon la formulation de Edwards et Durkin [13].

b) sur terrain accidenté:

$$\text{Pertes} = L_{BL} + L_B + \gamma$$

où L_{BL} sont les pertes sur le terrain selon les techniques de prédiction de Blomquist et Ladell [17].

Calcul de L_B .

Pour fins de vérification de leur théorie avec les mesures, Allsebrook et Parsons ont supposé que leur véhicule se tenait toujours au milieu de la route. Tel qu'illustré à la figure 3-4 (figure 13 de Allsebrook et Parsons), la distance entre le récepteur et la ligne d'édifices dans la direction de la station principale est donnée par:

$$W' = W / (2 \sin \alpha)$$

et est définie comme étant la "largeur effective d'une rue".

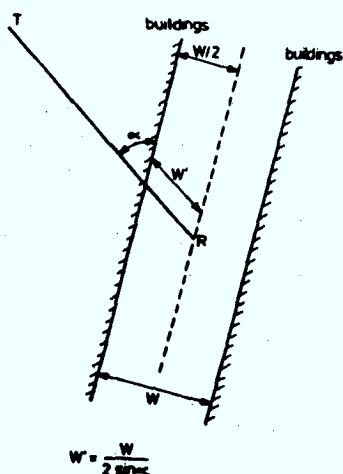


Figure 3-4: Définition de la largeur effective d'une rue (Source: K. Allsebrook, J.D. Parsons [4]).

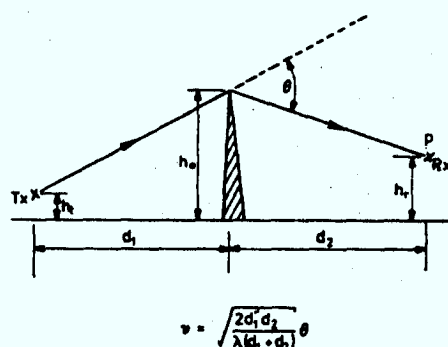


Figure 3-5: Calcul de la diffraction (Source: K. Allsebrook, J.D. Parsons [4]).

Quoique les auteurs ne donnent pas explicitement la formule utilisée pour calculer L_B , les pertes par diffraction sur les édifices dans le voisinage de la station mobile, il est possible de dériver de leur article la formule suivante:

$$L_B = 20 \log_{10} \left[\frac{\sqrt{2}(h_0 - h_r)}{\sqrt{\lambda d_2}} \right] \text{ dB}$$

où, tel qu'illustré à la figure 3-5 (figure 14 de Allsebrook et Parsons),

d_2 : distance entre la station mobile et les premiers édifices dans la direction de la station principale ($W' = d_2$);

h_0 : hauteur de ces édifices;

h_r : hauteur de l'antenne de la station mobile;

λ : longueur d'onde.

Pour une rue moyenne ($h_0 = 10$ m, $h_r = 2$ m, $d_2 = 30$ m), on obtient:

$$L_B = 20 \log_{10} \left[\frac{(\sqrt{2})(8)}{\sqrt{\lambda d_2}} \right]$$

ce qui donne 13, 16 et 21 dB de pertes par diffraction aux fréquences de 85, 167 et 441 MHz auxquelles les expériences ont été conduites.

Calcul de γ .

Allsebrook et Parsons ont trouvé cependant qu'il était nécessaire, à 441 MHz, d'introduire un facteur de correction γ appelé facteur de correction UHF, pour tenir compte des pertes.

La courbe donnant cette correction γ est reproduite à la figure 3-6 ci-dessous:

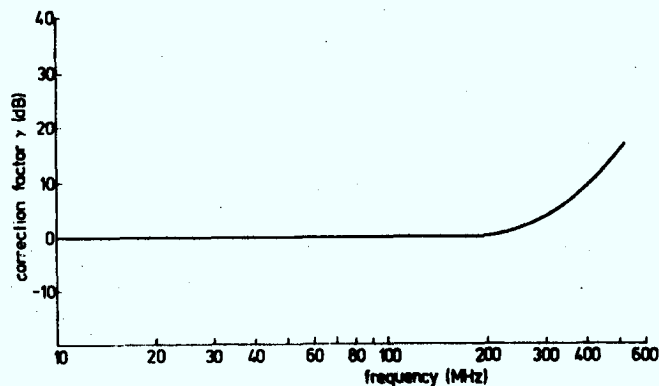


Figure 3-6: Facteur de correction UHF selon K. Allsebrook et J.D. Parsons [4] (voir remarque dans le texte pour les fréquences supérieures à 400 MHz).

Cette courbe peut être approximée comme suit:

$$f < 200 \text{ MHz} \quad \gamma(f) = 0$$

$$200 \text{ MHz} < f \leq 450 \text{ MHz} \quad \gamma(f) = 87.21(\log_{10} f)^2 - 394.59(\log_{10} f) + 446.14 \text{ (dB)}$$

$$f > 450 \text{ MHz} \quad (\text{voir remarque ci-dessous}).$$

Remarque importante:

Allsebrook et Parsons avancent comme hypothèse que ces pertes supplémentaires pourraient être dues à l'effet de l'épaisseur des édifices qui représente plusieurs longueurs d'ondes aux fréquences UHF. Leurs mesures sont limitées à la fréquence de 441 MHz et rien ne permet d'extrapoler la courbe à des fréquences supérieures. Au

contraire, il faut noter que Kozono et Watanabe, dont on étudie les résultats dans la section suivante, constatent une bonne corrélation entre les pertes dues aux édifices à 450 et à 800 MHz. On pourrait croire alors que $\gamma(f)$ resterait constant de 450 à 800 MHz.

Le tableau suivant donne, pour les trois villes citées plus haut, la moyenne et la déviation standard de l'erreur entre les prédictions et les mesures et indique le degré de précision des résultats obtenus:

Ville	Erreur de prédiction	
	moyenne (dB) $\bar{\epsilon}$	déviation standard (dB) σ_{ϵ}
Birmingham (grande ville, terrain plat)	0.8	8.0
Bath (ville moyenne, terrain ondulé)	3.6	7.9
Bradford (ville moyenne, terrain accidenté)	5.5	10.7

Précisons qu'il s'agit de la moyenne et de la déviation standard de l'erreur de prédiction par rapport à des mesures moyennées sur des régions de l'ordre de 1 km de diamètre.

C'est-à-dire que si la distribution de l'erreur de prédiction suit une loi log-normale, on peut conclure que, à Birmingham où la moyenne de l'erreur de prédiction est négligeable, la probabilité que la force du signal majeur reçu dans une zone de 1 km de diamètre soit 8 dB (σ_{ϵ}) plus faible que la prédiction est de .32, 16 dB ($2\sigma_{\epsilon}$) plus faible que la prédiction est de .05, et 24 dB ($3\sigma_{\epsilon}$) plus faible que la moyenne est de l'ordre de 10^{-3} .

A ceci s'ajoutent les variations instantanées du type Rayleigh dues aux patrons d'ondes stationnaires causées par les réflexions et les obstacles. Si Birmingham se comporte comme Philadelphie, les probabilités que la valeur instantanée du signal se trouve à -10, -20, -30 dB par rapport à sa valeur moyenne se trouvent effectivement de 10, 1 et 0.1%.

En conclusion, on peut affirmer que l'approche de Allsebrook et Parsons apparaît intéressante parce qu'elle permet de tenir compte, en première approximation, de l'effet des édifices en ajoutant les pertes par diffraction L_B sur les édifices dans le voisinage de la station mobile et

un facteur de correction avec la fréquence: le seul paramètre de caractérisation du milieu urbain requis pour ce calcul est le rapport entre la hauteur des édifices et la largeur des rues. A ceci, on peut ajouter que Allsebrook et Parsons ont montré que, dans le cas où des données topographiques ne sont pas disponibles, on peut obtenir quand même des prédictions acceptables.

Les conclusions de Allsebrook et Parsons corroborent deux résultats de Ott et Plitkins et de Kelly vus à la section précédente. En effet,

- l'avantage de 11 dB, identifié par Kelly dans la banlieue de Philadelphie par rapport aux mesures de Ott et Plitkins dans la ville même de Philadelphie, est bien conforme à l'ordre de grandeur qu'indique la théorie de Allsebrook et Parsons;
- tous ces auteurs ont vérifié que l'atténuation augmente selon une loi qui est fonction de la puissance 4 de la distance.

3.2.2 Approche de Kozono et Watanabe [5].

Kozono et Watanabe ont fait une analyse poussée afin d'établir la corrélation entre le niveau médian du signal reçu dans des zones d'étendue moyenne (1 à 2 km de diamètre) et quatre paramètres de caractérisation d'un milieu urbain:

- α : pourcentage de la surface occupée par les édifices dans une zone de faible étendue (cercle de 250 m de rayon);
- α' : semblable à α , mais pour une zone d'étendue moyenne (500 m \times 1000 m);
- β : volume des édifices dans une zone de faible étendue;
- β' : semblable à β , mais pour une zone d'étendue moyenne.

Cette étude a couvert une centaine de zones différentes, le niveau moyen dans chaque zone étant déterminé d'après un échantillon d'environ 1000 lectures.

Les conclusions de ces deux auteurs sont les suivantes:

- il y a une corrélation entre le niveau médian d'atténuation et chacun des quatre paramètres;
- cette corrélation permet de déterminer une relation entre le niveau

médian d'atténuation et chacun des quatre paramètres; par régression linéaire, les auteurs définissent des droites reliant le niveau moyen d'atténuation à chacun des quatre paramètres α , α' , β , β' ; par rapport à ces droites, la déviation standard de l'erreur de prédiction est:

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha} &= 7.3 \text{ dB} , & \sigma_{\alpha'} &= 6.5 \text{ dB} \\ \sigma_{\beta} &= 7.1 \text{ dB} , & \sigma_{\beta'} &= 6.1 \text{ dB}\end{aligned}$$

ce qui permet de conclure que le paramètre le plus simple α est, à toutes fins pratiques, aussi adéquat que β .

En fonction de ces résultats, Kozono et Watanabe proposent l'introduction d'un facteur de correction au niveau médian de base tel que spécifié par Okumura pour un milieu urbain. Ce facteur de correction S aurait la valeur suivante:

$$S = - 25 \log \alpha + 30 , \quad 3 < \alpha < 50 ,$$

où α représente le pourcentage de la surface du sol occupée par les édifices.

Dans le cadre de ce travail, nous avons repris point par point les résultats de Kozono et Watanabe, tels que publiés, et nous avons vérifié si un lissage avec des courbes du 2ème ou du 3ème degré n'améliorerait pas la prédiction. Nos résultats, détaillés à l'appendice III, ne s'écartent pas de façon significative de ceux de Kozono et Watanabe:

- un lissage avec des courbes du 2ème et du 3ème degré n'améliore pas sensiblement la prédiction pour des valeurs de α comprises entre 5 et 50;
- des paramètres comme α et α' , qui ne tiennent pas compte directement de la hauteur des édifices, sont d'aussi bons paramètres de prédiction que β et β' , ce qui pourrait indiquer que ces paramètres sont corrélés entre eux.

La figure 3-7, tirée de Kozono et Watanabe, représente le facteur de correction S qui doit être ajouté au niveau médian de base pour un milieu urbain, tel que défini par Okumura. On voit que le milieu urbain de base de Okumura correspond à un α de 15% environ: aux fréquences de 400 à 900 MHz, l'atténuation du signal est de l'ordre de 18 dB plus élevée qu'en terrain découvert ($\alpha = 3\%$), et l'atténuation peut augmenter

d'encore une dizaine de dB dans un milieu urbain très dense ($\alpha = 50\%$).

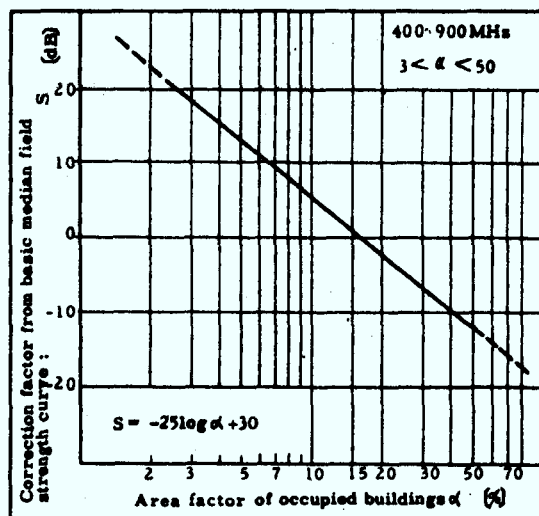


Figure 3-7: Correction au niveau médian de base du signal en fonction du pourcentage α de la surface du sol occupée par les édifices dans le voisinage de la station mobile (Source: S. Kozono, K. Watanabe [5]).

Ces résultats sont tout à fait compatibles avec ceux de Ott et Plitkins, ceux de Kelly, ceux de Allsebrook et Parsons et ceux de Okumura. Ils sont appuyés par un grand nombre de relevés expérimentaux. Leur utilisation pratique est facile puisqu'il suffit de spécifier pour chaque zone urbaine d'intérêt le pourcentage d'occupation du sol par les édifices.

Notons aussi un résultat complémentaire de Kozono et Watanabe auquel on a fait référence plus tôt: la déviation standard du niveau du signal dans un ensemble de petites zones adjacentes de 10 à 20 mètres de diamètre est de l'ordre de 4.5 dB, quelle que soit la distance de l'antenne de transmission.

Les résultats de Kozono et Watanabe montrent également une bonne corrélation entre l'atténuation médiane mesurée à 450 MHz et à 900 MHz: on note pratiquement la même atténuation à ces deux fréquences. Cette conclusion a déjà fait l'objet d'une remarque à la section précédente lors de la discussion de l'extrapolation possible à des fréquences supérieures à 400 MHz du facteur de correction UHF γ proposé par Allsebrook et Parsons.

3.3 EFFET DETAILLE DES EDIFICES

La littérature consultée contient très peu de documentation sur l'effet détaillé des édifices sur le niveau du signal. Quoiqu'on trouve ici et là des indications ou des mesures sur des cas particuliers, il semble qu'il n'y ait pas eu jusqu'à présent de synthèse ou d'étude complète réalisée sur cette question.

D'autre part, il ne semble pas qu'il y ait un grand intérêt à estimer avec une très grande précision le niveau du signal reçu en un point particulier dans un milieu urbain: des analyses moins détaillées telles que celles discutées dans les sections précédentes de ce chapitre apparaissent satisfaisantes.

Il nous apparaît cependant que les facteurs les plus importants à considérer afin de prédire plus précisément le niveau du signal reçu sont les suivantes:

- la nature et le type de construction qui crée une obstruction,
- l'angle d'incidence du signal sur la structure,
- la fréquence d'opération du système,
- la polarisation du signal.

Pour le premier facteur, l'expression utilisée actuellement au CRC [1], soit

$$L_1 = \frac{M \cdot d}{15} \text{ dB}$$

où d est l'espace occupé par l'édifice dans la direction de la ligne de vue et M est un facteur dépendant du type de construction

$$\begin{aligned} M &= 15 \text{ dB} \quad (\text{bois}), \\ M &= 30 \text{ dB} \quad (\text{béton}), \\ M &= 45 \text{ dB} \quad (\text{acier}), \end{aligned}$$

est, en première approximation, suffisante pour décrire grossièrement la situation particulière à l'étude. Elle nous semble cependant être un peu trop pessimiste car il n'existe pas de mention dans la littérature de perte de signal aussi élevée strictement due à l'obstruction d'un édifice, à moins que celui-ci ne soit dans le voisinage de l'antenne de transmission. Nous élaborerons sur ce cas un peu plus loin. Elle a toutefois l'avantage

de prédire avec une certitude relative que les pertes n'excéderont pas ce niveau.

La fréquence d'opération du système nous semble également un élément qu'il ne faut pas négliger. A mesure qu'elle augmente, plusieurs parties d'édifices deviennent plus facilement des diffuseurs, ce qui facilite la formation de patrons d'ondes stationnaires. Cet effet peut avoir tendance à créer, ponctuellement du moins, un affaiblissement notable du signal mais, sur une base statistique, il favorisera la formation de "couloirs de signal" qui empêcheront d'obtenir une perte excessive en réception pour une zone géographique de dimension raisonnable.

L'angle d'incidence du signal sur une structure peut aussi amener une variation très importante dans la perte causée par la présence d'un édifice. A ce sujet, on retrouve, dans l'article de Rice [18], la mention que *les pertes dues aux murs d'un édifice augmentent généralement à mesure que l'angle d'incidence augmente, mais ceci semble être le cas seulement pour les gros édifices comme l'article de Wells [19] tend à le démontrer.* Il y a cependant un cas particulier où la détermination de l'effet détaillé des édifices semble être d'importance majeure: *l'effet des édifices dans le voisinage de l'antenne principale.*

C'est ainsi que Shepherd [7] mentionne, dans un cas particulier, une mesure d'atténuation de 47 dB dû à un édifice isolé à comparer avec une prédiction théorique de 28 dB faite à partir d'hypothèses simplificatrices sur la diffraction. De même, Kelly [3] évalue à 16.4 dB l'influence d'édifices près d'une antenne principale qui masquent un angle important de la zone de réception. Ceci s'accorde assez bien avec les résultats de Rice [18] qui mentionne des variations de l'ordre de quelques dB à 10 et même 15 dB de pertes supplémentaires.

Il est cependant intéressant de noter que certains travaux expérimentaux, cités par Rice [18], tendent à démontrer qu'un signal polarisé horizontalement permettra d'obtenir un signal plus intense que la polarisation verticale à l'extérieur de l'ombre d'un édifice ou d'un obstacle causant la diffraction et que l'inverse se vérifie à l'intérieur de la zone d'ombre. Dans le cas où l'édifice n'est pas totalement en ligne d'obstruction avec l'antenne émettrice, ou qu'il en est suffisamment éloigné, les pertes additionnelles prédites par la théorie classique de la

diffraction sur une arête vive semblent être suffisamment adéquates et plus susceptibles d'être près de la réalité.

En conclusion, l'effet des édifices dans le voisinage d'une antenne principale peut avoir des conséquences majeures. Il est à noter d'ailleurs que le programme de prédiction du niveau du signal utilisé au CRC tient compte, en première approximation, de cet effet: cette caractéristique est importante à conserver et cette question devrait faire l'objet d'études plus poussées, aussi bien du point de vue théorique que du point de vue expérimental.

Chapitre 4

PERTES A L'INTERIEUR DES EDIFICES ET EFFETS DE LA VEGETATION

4.1 INTRODUCTION

Ce chapitre vise à faire ressortir les principaux points soulevés dans la littérature concernant les pertes de signal prévisibles à l'intérieur des édifices et les pertes additionnelles dues aux arbres et à la végétation. Il s'agit, dans l'ensemble, de problèmes complexes et assez peu documentés, particulièrement dans le premier cas. Nous chercherons néanmoins à identifier les éléments susceptibles d'améliorer les méthodes de prédiction actuellement utilisées au CRC [1].

En particulier, nous discutons abondamment certains articles récents qui laissent entrevoir une approche plus systématique de ce type de problèmes. Nous demeurons cependant convaincu qu'il ne s'agit là que de données très fragmentaires et que beaucoup d'études théoriques, et surtout expérimentales, sont encore nécessaires avant de pouvoir caractériser adéquatement ces effets.

4.2 NIVEAU DU SIGNAL A L'INTERIEUR DES EDIFICES

Dans le cas où les besoins d'une application particulière le justifieraient, certaines informations sont disponibles pour permettre l'introduction d'un élément de prévision d'une région de couverture à l'intérieur d'un édifice donné. Les résultats sont rendus disponibles par certaines études effectuées sur le niveau de réception à l'intérieur d'un édifice pour un service d'appel de personnes, ou sur les possibilités de communi-

quer directement avec un ensemble de récepteurs situés en milieu quasi-urbain ou urbain à partir d'une source unique, tel un satellite.

Il faut d'abord constater que les variations de niveau du signal à l'intérieur d'un édifice seront très grandes même pour des endroits distants de seulement quelques dizaines de centimètres. En effet, le signal peut provenir directement de l'antenne de transmission mais, et plus fréquemment, il provient de réflexions multiples sur les édifices avoisinants. De même, à l'intérieur, la présence de plusieurs formes disparates, tels les plafonds, murs, meubles, etc., favorisera non seulement une atténuation différente mais aussi une multiplicité de trajets possibles. Quoique l'on retrouve, sur une base ponctuelle, des différences de niveau de l'ordre de 10 dB entre la polarisation horizontale et la polarisation verticale, en moyenne elles sont négligeables.

A partir de ces considérations, on peut conclure qu'une antenne omnidirectionnelle non polarisée est susceptible d'être la plus performante à l'intérieur d'un édifice.

L'influence des édifices avoisinants diminue considérablement à mesure que l'on gagne en hauteur dans l'édifice. Ceci est bien connu et la courbe de Rice [20], reproduite ici (figure 4-1), illustre bien le fait que le calcul de la perte devrait être effectué pour le rez-de-chaussée, les autres étages étant automatiquement assurés d'avoir au moins ce niveau de signal minimum.

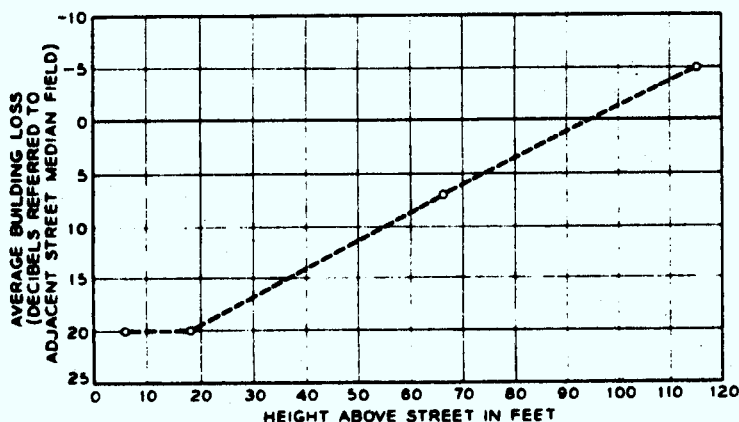


Figure 4-1: Pertes moyennes en fonction de la hauteur des étages d'un édifice à 150 MHz (Source: L.P. Rice [20]).

Les pertes à l'intérieur d'un édifice ont tendance à suivre approximativement une distribution log-normale [20] et sont de l'ordre de 20 à 25 dB au niveau du premier étage. La déviation standard, par contre, est relativement grande, de l'ordre de 14 dB à 35 MHz et de 12 dB à 150 MHz, et s'explique par la complexité du milieu et la multiplicité des phénomènes qui peuvent donner naissance au champ résultant.

Une étude réalisée en Grande-Bretagne [21] a confirmé qu'il existe de grandes variations entre les pertes susceptibles d'être rencontrées entre le premier étage d'une résidence conventionnelle et le grenier: le tableau 1 résume les relevés effectués, et l'on a tenté de caractériser partiellement les différences observées par des considérations sur la structure des édifices eux-mêmes sans toutefois parvenir à les expliquer convenablement. Une étude récente de Wells [19] apporte quelques précisions à ce sujet et elle sera discutée plus loin.

	House lofts	Ground-floor rooms
Median ratio between reference field and maximum internal field	5.5dB	13.5dB
Median ratio between reference field and mean internal field	10.5dB	19.0dB

Tableau 1: Résumé des pertes encourues au rez-de-chaussée et dans le grenier d'une résidence typique (Source: E. Sofaer, C.P. Bell [21]).

Considérations additionnelles en milieu quasi-urbain.

Une étude très récente, effectuée par Wells [19] et ayant pour but d'analyser les possibilités de réception en milieu quasi-urbain de signaux provenant d'une source unique (v.g. satellites), permet de tirer certaines conclusions intéressantes et pertinentes pour notre étude.

L'objectif premier était de mesurer l'atténuation des édifices aux fréquences UHF en fonction de la fréquence, du type de construction, du climat et de l'angle d'élévation de la source pour des résidences de type unifamilial. Il distingue tout d'abord cinq type de résidence:

- a) charpente de bois et revêtement de bois,
- b) charpente de bois et revêtement bois-brique,
- c) charpente de bois et revêtement métallique,

- d) charpente et revêtement de maçonnerie,
- e) maison mobile (charpente de bois, revêtement d'aluminium),

et retient celles en (a) et (b) comme étant les plus fréquentes et pour lesquelles une étude d'atténuation est effectuée.

Dans au moins 75% des cas, on s'aperçoit qu'il est possible d'expliquer les variations du signal à l'aide d'un modèle linéaire à huit paramètres, à savoir:

- a) la ville,
- b) la fréquence,
- c) le type de construction,
- d) le type d'isolation utilisé,
- e) la surface effective des fenêtres,
- f) le degré d'exposition d'une pièce (effet de masque des autres parties de l'édifice),
- g) la pluie,
- h) la neige.

On constate que, pour toutes les maisons et toutes les fréquences considérées, l'atténuation moyenne du signal est de 6.3 dB.

De plus, il appert que le type d'isolation utilisé est un facteur très important, en particulier les panneaux isolants avec coupe-vapeur d'aluminium incorporé, et est une source d'atténuation de l'ordre de 11 dB supplémentaires.

Ce revêtement étant couramment utilisé dans un pays froid comme le nôtre, il semble important que cet aspect soit considéré sous tous ses angles lorsque les possibilités d'utiliser la transmission directe par satellites au citoyen seront envisagées très sérieusement.

Cette étude mentionne également que la situation d'une pièce dans la maison a un effet négligeable (de l'ordre de 0.6 dB) sur le niveau du signal reçu et qu'une maison avec revêtement extérieur en bois et maçonnerie a une atténuation supérieure relativement faible mais néanmoins significative - de l'ordre de 1,6 dB - par rapport à celle d'une maison entièrement construite en bois.

Un point important, qui s'applique également au Canada, est la constatation qu'une maison avec de l'isolation dans le plafond et les murs atténue le signal par encore 1,6 dB de plus qu'une maison dont seulement le plafond est isolé.

Finally, on constate que l'atténuation augmente à mesure que la fréquence augmente et ceci devrait être introduit éventuellement dans le programme du CRC si le besoin pour ce type de service se manifeste ou est pressenti.

4.3 EFFETS DE LA VEGETATION

L'effet de la végétation (arbres, arbustes, etc.) a fait l'objet de certains travaux [22-27] et nous ferons ici une synthèse des principaux résultats obtenus. Il paraît évident au départ que la corrélation entre ces diverses études n'est pas très forte et les résultats indiqués sont très difficiles à généraliser.

Dans le programme de calcul mis au point au CRC on introduit ici trois cas possibles pour l'étude de l'influence de la végétation, à savoir,

- a) une partie du trajet est constituée d'un boisé localisé dans l'environnement du récepteur (ou de l'émetteur);
- b) le récepteur est situé à l'intérieur d'un milieu boisé sur une distance telle que la perte atteint un niveau à peu près constant;
- c) l'antenne réceptrice est située à une distance appréciable au-delà d'un boisé.

A la lumière des articles et résultats analysés, il semble que cette division est la plus logique: elle doit donc être maintenue.

Analyse détaillée.

Une analyse détaillée des résultats disponibles dans la littérature est très difficile à résumer car il semble y avoir un manque de cohérence des études dans ce domaine. Globalement, on peut cependant dégager certains résultats applicables à un bon nombre de situations et nous allons présenter ici les tendances les plus généralement observées.

Dans un premier temps, des travaux effectués par Head [22] dans le but de déterminer l'influence de la végétation sur les signaux de télévision UHF ont montré qu'à ces fréquences un boisé est relativement opaque. Le signal reçu est essentiellement une onde diffractée au sommet des arbres avec un faible *champ de fuite* résiduel lorsque le champ diffracté est lui-même très faible. De fait, l'auteur met en évidence que l'atténuation de ce champ, comparativement à celui observé en espace limité, peut être prédite adéquatement par la théorie d'un obstacle sphérique ayant un rayon de courbure terrestre classique de $4/3$. On doit préciser que l'étude est réalisée pour les signaux de télévision en UHF, donc que l'antenne de transmission se trouve à une hauteur très appréciable par rapport à l'antenne de réception; par conséquent cette étude se situe dans le cas (c), identifié plus haut, avec, toutefois, un élément additionnel: le gain de hauteur de l'antenne.

Les résultats indiquent cependant clairement que l'atténuation due à la végétation augmente avec la fréquence, ce qui est d'ailleurs connu depuis Saxton et Lane dont les résultats se résument à la courbe présentée ici (figure 4-2).

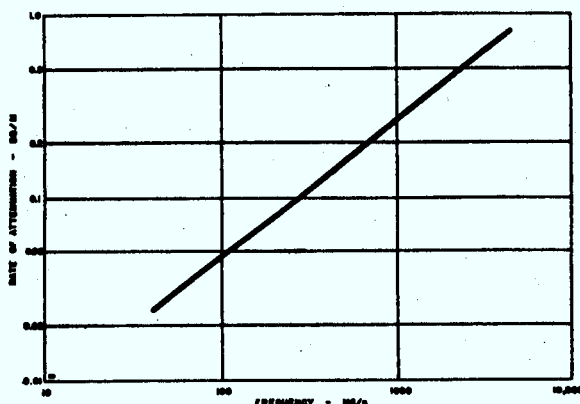


Figure 4-2: Taux d'atténuation en fonction de la fréquence d'après Saxton et Lane (Source: H.T. Head [22]).

Il est également mentionné que le taux d'atténuation tend à diminuer avec un accroissement de la grosseur des arbres. Cette conclusion est probablement due aux conditions de l'expérience et ne peut pas, à notre avis, être généralisée au cas où le transmetteur et le récepteur sont entourés de végétation et où l'effet de hauteur de l'antenne n'est pas aussi évident, comme en communications radiomobiles par exemple.

H.T. Head définit (figure 4-3) une zone de dégagement pour laquelle ses résultats montrent que le niveau du signal augmente approximativement comme le logarithme de zone de dégagement lorsque celle-ci est supérieure à 0,1 mille mais que, à courte distance du boisé, la relation est beaucoup moins évidente. Une expression analytique de ce résultat est

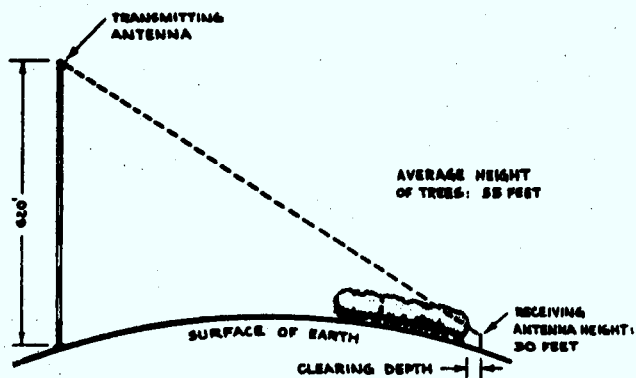


Figure 4-3: Définition de la zone de dégagement (Source: H.T. Head [22]).

donnée par Rice [18], soit:

$$\Delta C = 52 - 12 \log_{10} d_c \quad (\text{dB})$$

dans laquelle: ΔC est le niveau du champ en-dessous de celui calculé par la théorie d'une terre lisse
et d_c est la zone de dégagement (en mètres).

Trajets mixtes.

En représentant un trajet mixte sous la forme de la figure 4-4,

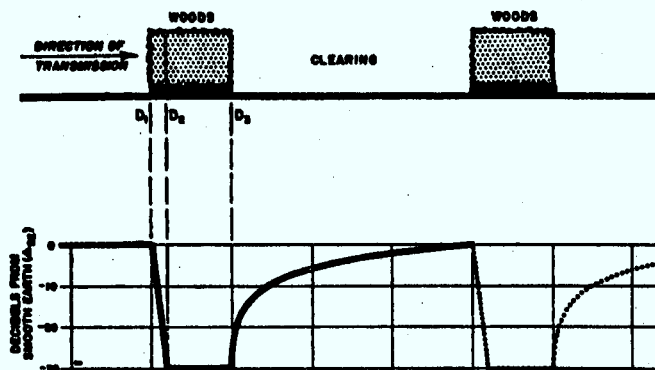


Figure 4-4: Représentation d'un trajet mixte et limite supérieure de l'atténuation (Source: H.T. Head [22]).

il est facile de conclure que dans une région entièrement recouverte par les arbres, ou à peu près, le signal reçu est largement au-dessus du niveau du champ de fuite dont nous avons fait mention précédemment.

La limite supérieure d'atténuation prédite par cette courbe est une perte de 30 dB, cette valeur étant conforme à celle introduite par Palmer dans le programme du CRC pour le cas (b).

Lorsqu'un estimé du pourcentage du trajet recouvert de forêt peut être fait, la courbe de la figure 4-5 peut s'avérer d'une certaine utilité. Il faut toutefois que ceci soit confronté avec les résultats plus récents de Reudink [23] et Lagrone [24] ; nous élaborerons là-dessus plus loin.

Globalement, on peut cependant conclure que l'atténuation due à la végétation est un facteur très significatif aux fréquences élevées; ceci a d'ailleurs été récemment confirmé par Reudink aux fréquences UHF et en bande X.

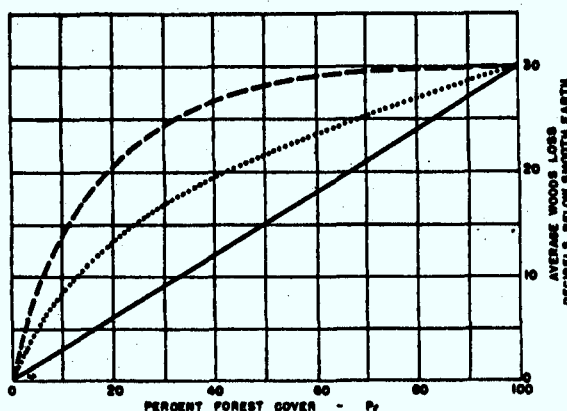


Figure 4-5: Perte moyenne de signal en fonction du pourcentage de couverture par la forêt (Source: H.T. Head [22]).

En ce qui concerne la section du parcours qui s'effectue entièrement dans un boisé, les tendances dégagées par Tamir [25] sur la propagation HF et VHF semblent très pertinentes, et il vaut la peine de les énumérer ici:

- a) lorsque les hauteurs d'antennes sont constantes, le champ reçu varie comme le carré de la distance;
- b) la présence de la végétation produit une perte constante qui semble être indépendante de la distance entre les terminaux;

- c) la perte de transmission est réduite à mesure que l'on augmente la hauteur de l'antenne. Le gain de hauteur (en dB) varie à peu près logarithmiquement avec la hauteur de l'antenne;
- d) le champ reçu peut être considérablement dépolarisé par rapport à celui transmis.

Les trois premières conclusions de Tamir découlent du caractère dissipatif du feuillage pour des fréquences comprises entre 1 et 100 MHz tandis que la dernière s'explique plutôt par l'effet d'éparpillement que produisent les feuilles des arbres, surtout lorsqu'elles sont en mouvement sous l'effet du vent.

Tamir avait tout d'abord proposé un modèle que nous appellerons "couche opaque" (dissipative slab), dans lequel il envisage deux ondes séparées, à savoir une onde latérale qui se propage sur la cime des arbres, et une onde d'espace provenant d'une réflexion sur l'ionosphère (figure 4-6). L'onde latérale jouait évidemment un rôle très important car l'onde d'espace est restreinte à une faible bande de fréquence avec une amplitude appréciable seulement à grande distance. Ce modèle a d'ailleurs été modifié très récemment [26] et fera l'objet d'un exposé particulier.

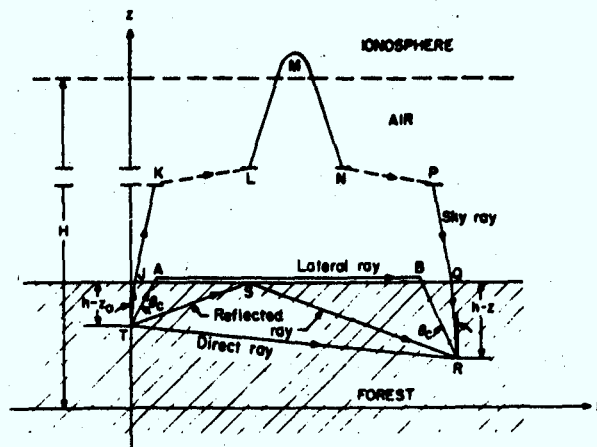


Figure 4-6: Eléments du modèle de Tamir
(Source: T. Tamir [25]).

Très récemment, Lagrone [24] a effectué certaines mesures pour vérifier les hypothèses généralement acceptées que l'effet moyen des arbres sur des signaux polarisés horizontalement à des fréquences inférieures à 30 MHz est essentiellement négligeable et, qu'au-delà de 1 GHz, la végétation est essentiellement opaque.

Il conclut que même à 82 MHz, le signal est diffracté par les arbres et que même pour des fréquences inférieures, la hauteur de l'arête de diffraction est sensiblement inférieure à la hauteur des arbres. De même, pour des fréquences plus élevées (1280 et 2950 MHz), il vérifie que l'augmentation d'opacité des arbres augmente la précision de l'approximation de l'arête vive et la hauteur apparente de l'arête de diffraction est égale à la hauteur réelle des arbres.

Dans l'ensemble, les conclusions de Lagrone (sauf celle mentionnée plus haut) vérifient des résultats déjà connus, à savoir:

- a) des signaux plus intenses que ceux prédits par la théorie d'une terre lisse sont observés au bas de la bande VHF et une meilleure prédiction peut être faite en supposant une diffraction sur une arête vive plutôt qu'une terre lisse sphérique;
- b) aux fréquences UHF, la hauteur effective des arbres est à peu près égale à leur hauteur physique lorsque la distance entre ceux-ci et le récepteur est appréciable [cas (c) introduit au début].

Boisé localisé dans l'environnement du récepteur.

Il est connu [18] que lorsqu'une antenne est située dans un milieu boisé, l'atténuation mesurée est supérieure à celle prédite par un modèle du type couche opaque qui utilise une conductivité effective du feuillage pour déterminer la composante absorption de l'atténuation totale.

Le programme du CRC actuel utilise essentiellement les résultats de Saxton et Lane, repris par Rice, pour effectuer le calcul de la perte dans le cas (a) présenté au début. Les expressions utilisées (éq. 4-1 et 4-2) méritent cependant quelques commentaires.

$$L_v = 1637\sigma + \left[\frac{\exp(-90/f) \log(1 + f/100)}{2.99} \right] \text{ dB/m} \quad (4-1)$$

$$L_h = 1637\sigma + \left[\frac{\exp(-210/f) \log(1 + f/200)}{2.34} \right] \text{ dB/m} \quad (4-2)$$

où v et h désignent, respectivement, la polarisation verticale et horizontale, f est en MHz et σ varie avec le type d'arbres selon le tableau donné par Rice (1971).

Ces équations ne tiennent malheureusement pas compte de la densité des arbres et il est montré que selon la densité du boisé, l'obstacle peut être considéré plus ou moins transparent, donc avoir des pertes plus faibles que celles prédites par (4-1) et (4-2).

De même, aux fréquences SHF et au-delà, γ_v et γ_h dépendent toujours de la fréquence et non de la conductivité. En effet, il n'est plus possible de caractériser un milieu qui crée un éparpillement du signal (ceci étant dû à la grosseur relative des feuilles comparée à la longueur d'onde) par une conductivité. Ceci est d'ailleurs vérifié par Reudink [23].

Il est donc clair que ces expressions sont très valables pour caractériser le comportement d'un milieu boisé mais que, sur une gamme de fréquence de l'ordre de 1 à 3000 MHz, la résolution obtenue est très variable. Rice [18] mentionne d'ailleurs qu'on se doit de les utiliser avec une grande précaution pour des fréquences supérieures à 1 GHz et qu'elles perdent leur signification au-delà de 3 GHz.

Dans le cas d'un boisé entièrement défolié situé entre le transmetteur et le récepteur, il semble cependant évident que la perte peut être prédite en-dedans de 6 dB en supposant une diffraction de Fresnel au-dessus d'un obstacle légèrement moins élevé que la hauteur réelle des arbres.

Une conclusion récente de Lagrone [24] s'applique dans ce cas et elle vérifie l'ensemble des résultats précédents, à savoir:

lorsque le récepteur est à proximité des arbres, une partie importante du signal se propage directement au travers de la végétation et la hauteur efficace des arbres est moindre que leur hauteur physique.

Effet de la végétation aux fréquences supérieures.

L'étude relativement récente de Reudink [23] confirme certains résultats déjà connus sur l'effet de la fréquence et présente surtout un intérêt quand on désire caractériser l'effet additionnel de la végétation sur un terrain accidenté dans le cas des communications mobiles.

Il confirme que la présence du feuillage réduit le niveau du signal et que cet effet est plus prononcé en bande X (5.2 - 10.9 GHz) qu'aux fréquences UHF. Il rejoint en cela les conclusions des auteurs cités précédemment.

En plus de l'effet topographique naturel d'une colline dont on sait déjà caractériser l'influence, la conclusion importante est que

lorsque le feuillage est complètement ouvert sur une colline, le niveau d'un signal UHF est typiquement de 10 dB inférieur et cet effet peut atteindre 20 dB en bande X.

Même si les collines sont plutôt arrondies et que la théorie de la diffraction sur une arête vive (knife-edge diffraction) ne peut être qu'une approximation, il semble que les résultats prédits par cette méthode s'accordent assez bien avec les résultats expérimentaux et que ceci est particulièrement vrai pour des mesures effectuées en hiver, moment où la défoliation est totale.

La distribution du signal est grossièrement log-normale aux fréquences UHF avec une déviation standard d'environ 7 ou 8 dB, déviation qui augmente à mesure que la distance augmente entre le récepteur mobile et la station de base.

En bande X, la distribution ne peut être considérée comme étant log-normale, du moins sur la base des résultats obtenus avec cette étude.

Modèles plus élaborés.

Jusqu'à maintenant nous avons surtout considéré les résultats obtenus à partir de relevés expérimentaux et il semble d'ailleurs que ceci soit largement suffisant pour caractériser la majorité des cas pratiques. Une approche différente serait d'envisager un modèle théorique élaboré et de tenter d'en tirer des conclusions générales. Dans une publication récente, Fung et Fung [27] résument très bien les travaux antérieurs effectués dans cette optique et la complexité de la formulation laisse songeur quant à l'utilisation et, plus explicitement, l'utilité de ces études.

Essentiellement, cela revient à examiner un milieu sujet à des variations aléatoires de permittivité avec une variance importante et à élaborer un modèle d'éparpillement à partir d'un tel milieu. Puisque l'effet d'éparpillement augmente appréciablement avec la fréquence, ce type de modèle donne lieu à des analyses d'une complexité inabordable et, par conséquent,

il est recommandé qu'une telle approche ne soit pas envisagée dans une éventuelle étude ultérieure sur l'effet de la végétation.

Dans un article récent, Tamir [26] amène un modèle qui nous semble beaucoup plus approprié et qui mérite une attention particulière. Son approche consiste à définir des situations canoniques et à étudier toutes les autres situations à partir de celles-ci.

Les quatre cas canoniques retenus sont les suivants (figure 4-7):

- a) champ à l'intérieur du boisé (zone I de la figure),
- b) champ immédiatement au-dessus de la cime des arbres (zone II),
- c) champ nettement au-dessus d'une zone déboisée (zone III),
- d) champ légèrement au-dessus d'une zone déboisée (zone IV).

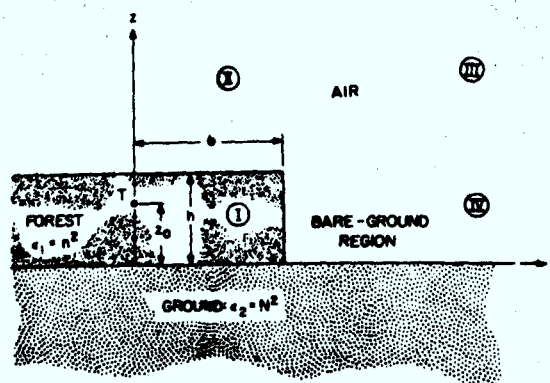
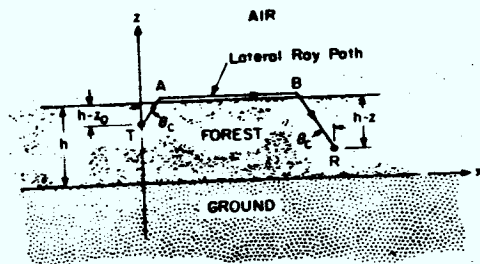


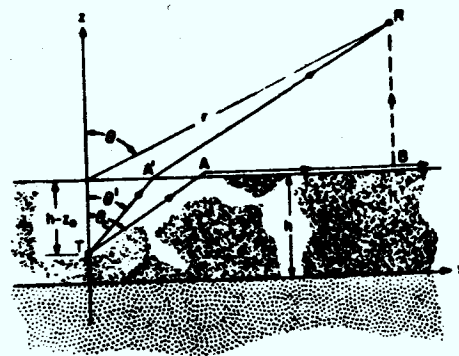
Figure 4-7: Cas canoniques retenus par Tamir
(Source: T. Tamir [26]).

Pour chacun de ces cas, il détermine les expressions analytiques des champs à partir de considérations géométriques relativement simples sur les trajectoires des champs considérés comme importants. Les diagrammes géométriques pertinents à cette étude pour chacune des régions définies précédemment sont représentés à la figure 4-8.

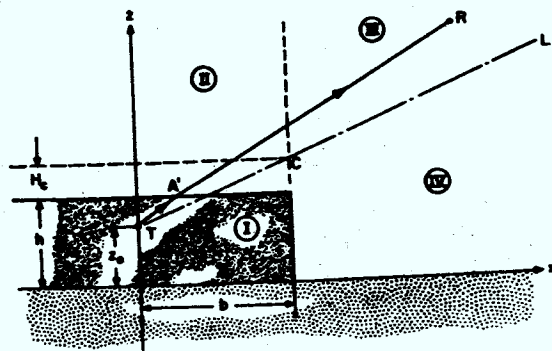
Cette approche nous semble très intéressante et relativement facile à vérifier à partir de données expérimentales. Dans le cas où il y aurait un besoin justifiant une campagne de mesure de l'effet de la végétation, et que celle-ci soit entreprise par le CRC, il est recommandé que les expériences soient pensées en termes d'une possibilité de vérification par le modèle suggéré par Tamir [26].



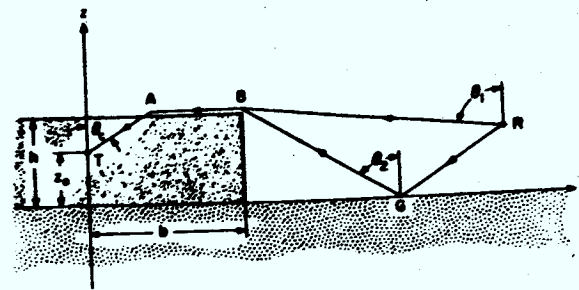
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4-8: Trajectoires des champs selon les régions définies à la figure précédente:
 (a) Région I; (b) Région II; (c) Région III; (d) Région IV.

Chapitre 5

CONCLUSION

Notre étude permet de mettre en évidence les principaux problèmes soulevés par la modélisation des conditions de propagation en milieu urbain et de faire ressortir les solutions envisagées dans l'état actuel des connaissances pour les résoudre.

Dans un premier temps, une recherche bibliographique très poussée a été effectuée et une lecture très critique de ces diverses publications nous a permis d'identifier les travaux les plus pertinents à notre recherche. Nous avons également cerné les domaines d'études complémentaires sur des sujets connexes et d'un grand intérêt pour le CRC.

Les diverses étapes qui ont suivi permettent

- a) de présenter un exposé très actuel des connaissances sur les caractéristiques générales de la propagation des ondes aux fréquences VHF et UHF;
- b) de connaître les derniers développements visant l'estimation du niveau du signal en milieu urbain et de suggérer les diverses alternatives possibles permettant leur introduction dans le modèle de prédiction en usage au CRC;
- c) d'identifier les principaux problèmes reliés à l'évaluation de la perte de signal à l'intérieur des édifices et celle due à l'effet de la végétation et de suggérer sur quelle base des mesures devraient être entreprises;
- d) de constater les tout derniers développements qui se sont produits ailleurs sur les systèmes de communications radio-mobiles, en particulier aux Etats-Unis et au Japon.

Globalement, nous croyons que les objectifs énoncés dans la proposition de contrat de recherche soumise originalement, à savoir

"Faire une étude préliminaire des problèmes de propagation en milieu urbain dans les bandes de fréquences VHF et UHF. Cette étude comprendra une recherche bibliographique poussée et une analyse des principaux problèmes soulevés par la modélisation des conditions de propagation en milieu urbain. Une attention particulière sera portée aux méthodes susceptibles d'être utilisées pour l'introduction des effets perturbateurs des édifices dans un modèle. On s'attachera à faire ressortir les moyens analytiques et numériques récents et à la possibilité de les mettre en oeuvre dans un modèle adéquat de propagation en milieu urbain. Les principaux sujets devant faire l'objet d'une recherche supplémentaire seront signalés, en particulier ceux qui touchent directement des travaux s'inscrivant dans une recherche globale sur l'utilisation du spectre électromagnétique."

ont été largement atteints.

Cette étude représente ce que nous croyons être la plus à jour au niveau des connaissances additionnelles récemment acquises et publiées dans la littérature courante. En cela, il nous apparaît qu'elle était absolument nécessaire afin de suggérer au CRC les domaines d'études que nous pensons les plus pertinents dans ce secteur, et nous avons d'ailleurs présenté une demande de renouvellement sur un sujet connexe qui devrait normalement être à la pointe des connaissances et pour lesquelles le CRC se verra fréquemment consulté dans un proche avenir.

Bibliographie

- [1] F.H. PALMER, "The CRC VHF/UHF propagation prediction program: description and comparison with fields measurements", AGARD Symposium, Ottawa, avril 1978.
- [2] G.D. OTT, A. PLITKINS, "Urban path-loss characteristics at 820 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 4, pp. 189-197, novembre 1978.
- [3] K.K. KELLY II, "Flat suburban area propagation at 820 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 4, pp. 198-204, novembre 1978.
- [4] K. ALLSEBROOK, J.D. PARSONS, "Mobile radio propagation in British cities at frequencies in the VHF and UHF bands", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 313-323, novembre 1977.
- [5] S. KOZONO, K. WATANABE, "Influence of environmental buildings on UHF land mobile radio propagation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, n° 10, pp. 1133-1143, octobre 1977.
- [6] D.C. COX, "910 MHz urban mobile radio propagation: multipath characteristics in New York City", IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, n° 11, pp. 1188-1194, novembre 1973.
- [7] N.H. SHEPHERD, "Radio wave loss deviation and shadow loss at 910 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 309-313, novembre 1977. (Voir aussi la correction à cet article, vol. VT-27, n° 3, p. 158, août 1978).
- [8] A.B. CRAWFORD, W.C. JAKES, "Selective fading of microwaves", Bell Syst. Tech. J., vol. 31, n° 1, pp. 68-90, janvier 1952.
- [9] J.F. OSSANNA Jr., "A model for mobile radio fading due to building reflections: theoretical and experimental fading waveform power spectra", Bell Syst. Tech. J., vol. 23, n° 6, pp. 2935-2971, novembre 1964.

- [10] Y. OKUMURA, E. OHMORI, T. KAWANO, K. FUKUDA, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service", Rev. Elec. Commun. Lab., vol. 16, n^{OS} 9-10, septembre-octobre 1968.
- [11] A.G. LONGLEY, P.L. RICE, "Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain - A computer method", ESSA Tech. Rep. ERL79-ITS67, 1968.
- [12] J. DEYGOUT, "Multiple knife-edge diffraction of microwaves", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-14, n^O 4, pp. 480-489, juillet 1966.
- [13] R.E. EDWARDS, J. DURKIN, "Computer prediction of service area for VHF mobile radio networks", Proc. IEE (London), vol. 116, n^O 9, pp. 1493-1500, septembre 1969.
- [14] C.E. DADSON, J. DURKIN, R.E. MARTIN, "Computer prediction of field strength in the planning of radio systems", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-24, n^O 1, pp. 1-8, février 1975.
- [15] J. DURKIN, "Computer prediction of service areas for VHF and UHF land mobile radio services", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n^O 4, pp. 323-327, novembre 1977.
- [16] G.A. ARREDONDO, J.C. FEGGELER, J.I. SMITH, "Voice and data transmission", Bell Syst. Tech. J., vol. 58, n^O 1, pp. 97-122, janvier 1979.
- [17] A. BLOMQUIST, L. LADELL, "Prediction and calculation of transmission loss in different types of terrain", NATO AGARD Conf. Publ. CP144, Research Institute of National Defense, Dept. 3, S-10450, Stockholm 80, Sweden, pp. 32/1-32/17, 1974.
- [18] P.L. RICE, "Some effects of buildings and vegetation on VHF/UHF propagation", IEEE Mountain-West EMC Conference Proceedings, pp. 1-10, 1971.
- [19] P.I. WELLS, "The attenuation of UHF radio signals by houses", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n^O 4, pp. 358-362, novembre 1977.
- [20] L.P. RICE, "Radio transmission into buildings at 35 and 150 Mc", Bell Syst. Tech. J., vol. 38, n^O 1, pp. 197-210, janvier 1959.
- [21] E. SOFAER, C.P. BELL, "Factors affecting the propagation and reception of broadcasting signals in the UHF bands", Proc. IEE (London), vol. 113, n^O 7, pp. 1133-1140, juillet 1966.

- [22] H.T. HEAD, "The influence of trees on television field strengths at ultra-high frequencies", Proc. IRE, vol. 48, n° 6, pp. 1016-1020, juin 1960.
- [23] D.E. REUDINK, M.F. WAZOWICZ, "Some propagation experiments relating foliage loss and diffraction loss at X-band and UHF frequencies", IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, n° 11, pp. 1198-1206, novembre 1973.
- [24] A.H. LAGRONE, "Propagation of VHF and UHF electromagnetic waves over a grove of trees in full leaf", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 6, pp. 866-869, novembre 1977.
- [25] T. TAMIR, "On radio-wave propagation in forest environments, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-15, n° 6, pp. 806-817, novembre 1967.
- [26] T. TAMIR, "Radio wave propagation along mixed paths in forest environments", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 4, pp. 471-477, juillet 1977.
- [27] A.K. FUNG, H.S. FUNG, "Application of first-order renormalization method to scattering from a vegetation-like half-space", IEEE Trans. Geoscience Electr., vol. GE-15, n° 4, pp. 189-195, octobre 1977.

- [22] H.T. HEAD, "The influence of trees on television field strengths at ultra-high frequencies", Proc. IRE, vol. 48, n° 6, pp. 1016-1020, juin 1960.
- [23] D.E. REUDINK, M.F. WAZOWICZ, "Some propagation experiments relating foliage loss and diffraction loss at X-band and UHF frequencies", IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, n° 11, pp. 1198-1206, novembre 1973.
- [24] A.H. LAGRONE, "Propagation of VHF and UHF electromagnetic waves over a grove of trees in full leaf", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 6, pp. 866-869, novembre 1977.
- [25] T. TAMIR, "On radio-wave propagation in forest environments, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-15, n° 6, pp. 806-817, novembre 1967.
- [26] T. TAMIR, "Radio wave propagation along mixed paths in forest environments", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 4, pp. 471-477, juillet 1977.
- [27] A.K. FUNG, H.S. FUNG, "Application of first-order renormalization method to scattering from a vegetation-like half-space", IEEE Trans. Geoscience Electr., vol. GE-15, n° 4, pp. 189-195, octobre 1977.

Appendice I

LE SYSTEME AMPS

Le système AMPS (Advanced Mobile Phone Service), développé par les laboratoires Bell, est présentement à l'essai à Chicago. La première phase des essais a principalement pour but de vérifier la performance de l'appareillage; dans une deuxième phase on s'intéressera à évaluer la qualité du service.

Les concepts de base qui rendent ce système complètement différent des systèmes précédents sont la division d'un territoire en cellules, l'assignation à chaque cellule d'un bloc de fréquences et la réutilisation du même bloc de fréquences dans des cellules situées à une certaine distance l'une de l'autre.

Au cours de la signalisation nécessaire pour amorcer un appel téléphonique, le système doit identifier le bloc de fréquence (la cellule) le plus adéquat. De la même façon, lorsque le véhicule se déplace d'une zone à l'autre, le contrôle de l'appel doit être transféré d'une cellule à l'autre: le système doit donc procéder automatiquement aux changements de cellule et de fréquence nécessaires.

Un avantage majeur de ce concept est qu'il permet d'accommoder une augmentation de la demande: initialement, on divisera un milieu urbain en cellules de quelque 8 milles de diamètre et, à mesure que la demande de service augmentera, on subdivisera chaque cellule initiale en trois cellules plus petites. En autant que les puissances de transmission et les plans de fréquence sont judicieusement choisis, on pourra réutiliser les mêmes blocs de fréquences dans des cellules situées à une certaine distance l'une de l'autre.

Le système AMPS opère dans la bande de 800 MHz, les canaux vocaux sont espacés de 30 kHz, la transmission se faisant en modulation de fré-

quence. Cependant, les signaux de signalisation et de contrôle sont transmis numériquement en FSK: étant donné que la transmission de ces données numériques est extrêmement critique pour la performance du système et que les conditions de propagation sont très sévères, chaque bit est transmis cinq fois, la décision étant prise par un vote majoritaire.

Une autre caractéristique intéressante du système AMPS est la réception par diversité d'espace à la station mobile.

Le système AMPS offre donc, en principe, la possibilité d'étendre le réseau téléphonique aux stations mobiles. Le concept de cellules permet d'envisager un système unique couvrant tout un pays; le concept de division cellulaire permet de répondre à une augmentation de la demande dans les très grands centres urbains sans augmenter la congestion du spectre.

Cependant, les données actuelles ne permettent pas encore d'évaluer la performance réelle de ce système.

Appendice II

ETAT DU DEVELOPPEMENT ACTUEL DE LA RADIOTELEPHONIE MOBILE TERRESTRE DE GRANDE CAPACITE AU JAPON

Un article récent de Ito et Matsuzaka [1] décrit un nouveau système de radiotéléphonie mobile terrestre de grande capacité qui doit entrer en service en 1979 et desservir Tokyo ainsi que d'autres grandes villes du Japon. L'étude de ce système a été menée depuis 1967 par l'Electrical Communication Laboratory de la Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation.

Le réseau de radiotéléphonie mobile intégré au réseau téléphonique régulier pourra desservir 100 000 abonnés. Il opère dans la bande de fréquence de 800 MHz et utilise une modulation de phase à bande étroite (NBPM) avec une séparation de 25 kHz entre les canaux. C'est un système cellulaire, i.e. que la région desservie est divisée en plusieurs zones radio. Chaque zone radio, dont le rayon est de 5 km en milieu urbain et de 10 km en milieu rural, possède une station fixe pouvant communiquer avec des unités mobiles à l'intérieur de la zone. Afin d'effectuer diverses fonctions de contrôle et de commutation, chaque groupe de stations fixes est relié à une station de contrôle et à un central de commutation.

Afin de pouvoir desservir le plus d'abonnés possible, les stations fixes sont séparées géographiquement de façon à obtenir des zones radio de grandeur appropriée et à permettre la réutilisation des mêmes canaux dans les zones suffisamment éloignées les unes des autres. L'unité mobile peut syntoniser n'importe quel canal libre dans la zone où elle est située. Dans une région possédant une densité de trafic élevée, 1000 canaux radio sont nécessaires. L'utilisation de synthétiseurs numériques de fréquences radio est rendue nécessaire étant donné le nombre élevé de canaux et la haute stabilité requise par la modulation PM à bande étroite.

Pour établir une liaison téléphonique, l'abonné demandeur n'a qu'à composer le numéro demandé à l'aide du clavier de numérotation situé dans le combiné de l'appareil de téléphone mobile. Malgré le fading rapide et important qui peut se produire lorsqu'un véhicule est en mouvement, l'intelligibilité de la voix dépasse 80% dans la zone de service.

Référence:

- [1] S. ITO, Y. MATSUZAKA, "800 MHz band land mobile telephone system - Overall view", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 4, pp. 205-211, novembre 1978.

Appendice III

RESULTATS COMPLEMENTAIRES SUR LA RELATION ENTRE LA SURFACE DU SOL OCCUPEE PAR LES EDIFICES ET LE VOLUME DES EDIFICES ET L'ATTENUATION DU SIGNAL

Tel que mentionné au chapitre 3 du rapport, S. Kozono et K. Watanabe [5] ont fait une analyse poussée à partir de mesures sur le terrain afin d'établir la corrélation entre le niveau médian du signal reçu dans des zones d'étendue moyenne (1 à 2 km de diamètre) et quatre paramètres de caractérisation d'un milieu urbain:

- α : pourcentage de la surface occupée par les édifices dans une zone de faible étendue (cercle de 250 mètres de rayon),
- α' : pourcentage de la surface occupée par les édifices dans une zone d'étendue moyenne (500 mètres par 1000 mètres),
- β : volume des édifices dans une zone de faible étendue (cercle de 250 mètres de diamètre),
- β' : volume des édifices dans une zone d'étendue moyenne (500 mètres par 1000 mètres).

Les résultats obtenus par les auteurs pour les quatre paramètres α , α' , β , β' sont reproduits ci-après aux figures III-1, III-2, III-4 et III-4. La ligne droite sur chaque figure illustre la relation linéaire entre le niveau médian du signal et chaque paramètre (α , α' , β , β') calculée par Kozono et Watanabe pour minimiser l'erreur quadratique moyenne.

A partir des données de Kozono et de Watanabe, nous avons essayé d'obtenir une meilleure approximation avec des courbes du deuxième degré et du troisième degré, toujours selon le critère de minimisation de l'erreur quadratique moyenne: la ligne pointillée sur chaque figure représente la courbe de régression quadratique obtenue. On remarque que les différences entre la droite et la courbe du second degré n'est pas significative

sauf, éventuellement, pour les valeurs extrêmes de α , α' , β , β' ; cependant, le nombre d'échantillons disponibles pour ces valeurs extrêmes étant assez faible, il n'est pas certain que cet effet soit réel.

D'autres résultats pour déterminer une meilleure approximation avec des segments de droite n'ont pas donné des résultats sensiblement différents.

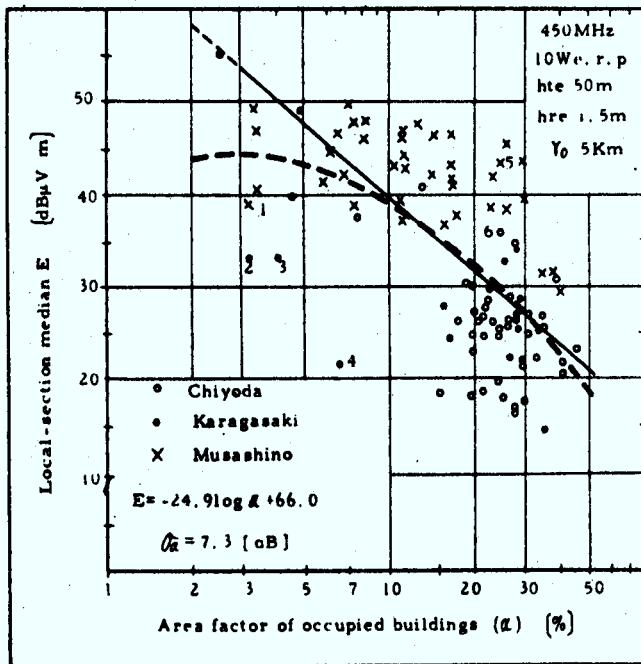


Figure III-1: $E = f(\alpha)$

$$E = -15.48(\log \alpha)^2 + 13.03(\log \alpha) + 41.76 \quad ; \quad \sigma_{\alpha} = 7.6$$

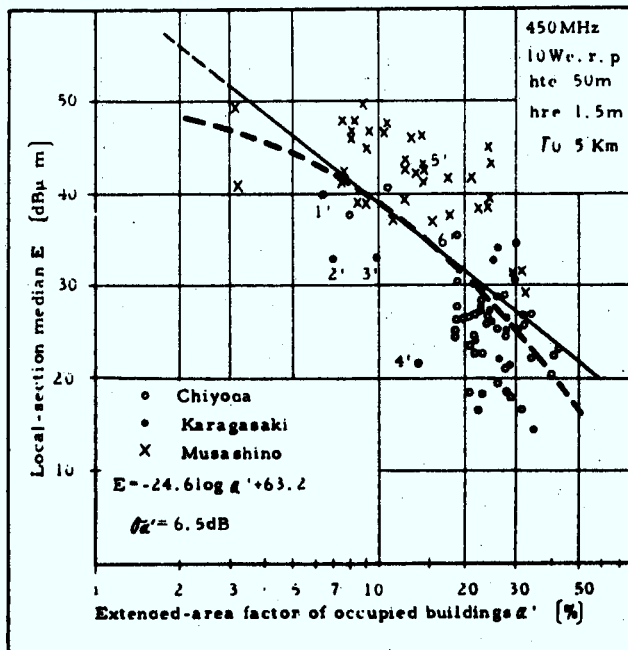


Figure III-2: $E = f(\alpha')$

$$E = -14.59(\log \alpha')^2 + 6.056(\log \alpha') + 47.45 \quad ; \quad \sigma_{\alpha'} = 6.7$$

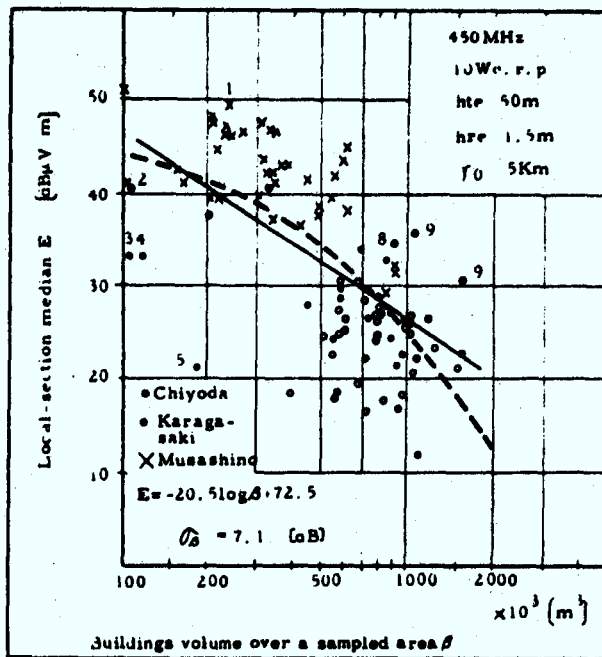


Figure III-3: $E = f(\beta)$

$$E = -16.93(\log \beta)^2 + 65.92(\log \beta) - 20.71 \quad ; \quad \sigma_{\beta} = 7.0$$

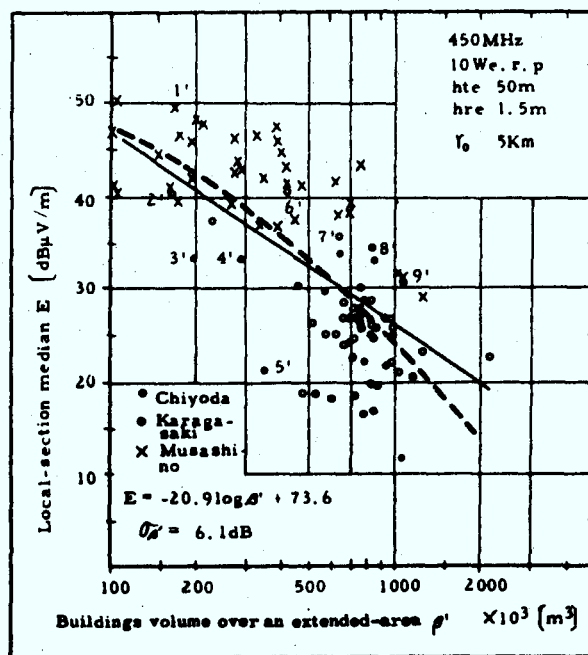


Figure III-4: $E = f(\beta')$

$$E = -7.958(\log \beta')^2 + 16.4(\log \beta') + 46.67 \quad ; \quad \sigma_{\beta'} = 6.5$$

Appendice IV - BIBLIOGRAPHIE COMPLETE

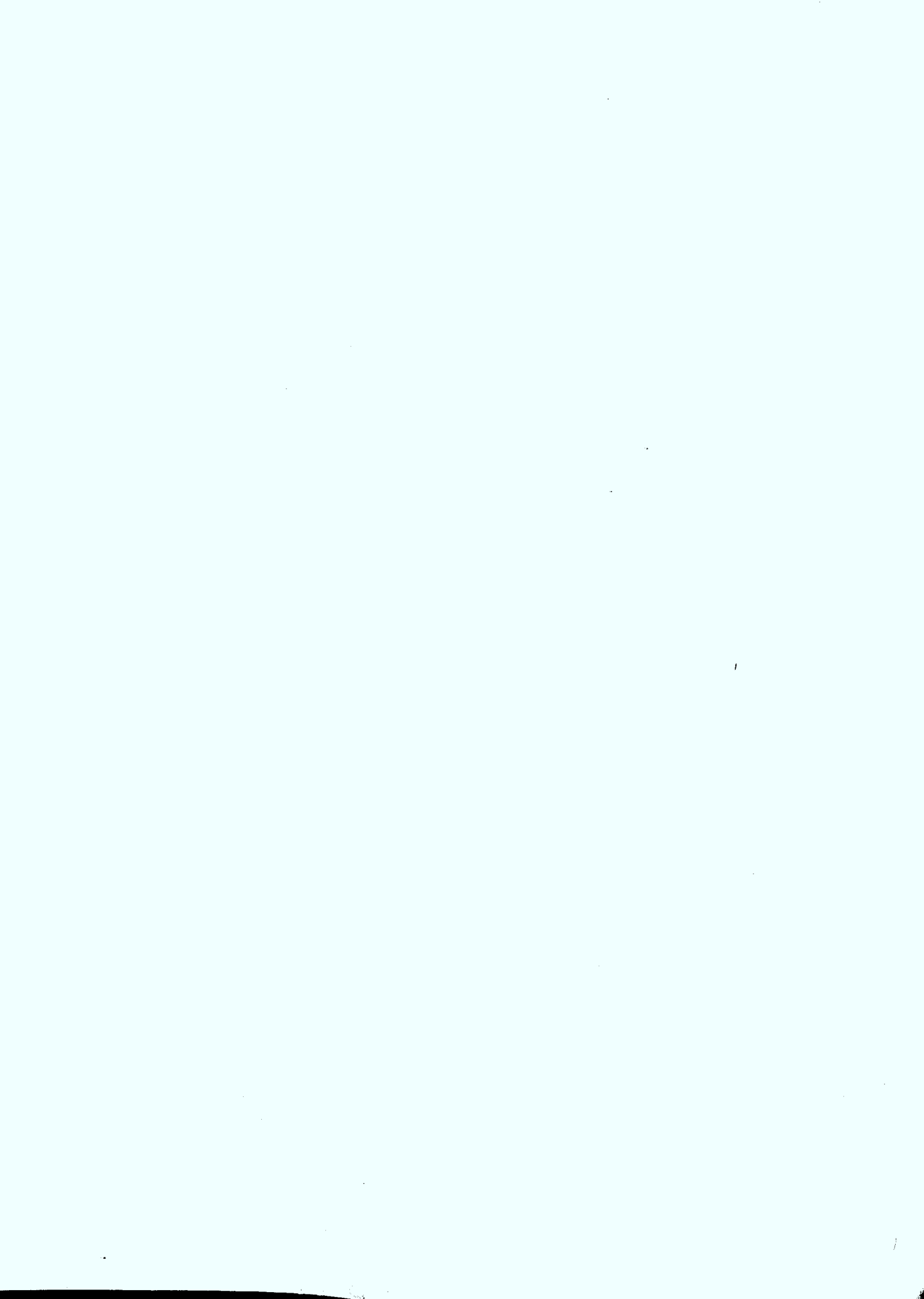
- 1- G.A. Arredondo, J.C. Feggeler, J.I. Smith, "Voice and data transmission", Bell Syst. Tech. J., vol. 58, n° 1, janvier 1979.
- 2- S. Ito, Y. Matsuzaka, "800 MHz band land mobile telephone system - Overall view", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 4, pp. 205-211, novembre 1978.
- 3- F.A. Hattori, K. Hirade, T. Kamata, "A periodic switching diversity technique for a digital FM land mobile radio", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 4, pp. 211-219, novembre 1978.
- 4- V. Graziano, "Propagation correlations at 900 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 4, pp. 182-189, novembre 1978.
- 5- G.D. Ott, A. Plitkins, "Urban path-loss characteristics at 820 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 4, pp. 189-197, novembre 1978.
- 6- K. Kelly II, "Flat suburban area propagation at 820 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 4, pp. 198-204, novembre 1978.
- 7- J.H. Causebrook, "Medium wave propagation in built-up areas", Proc. IEE, vol. 125, n° 9, pp. 804-808, septembre 1978.
- 8- L.J. Greenstein, "Multipath fading channel model for terrestrial digital radio systems", IEEE Trans. Commun., vol. COM-26, n° 8, pp. 1247-1250, août 1978.
- 9- D.L. Nielson, "Microwave propagation measurements for mobile digital radio application", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 3, pp. 117-132, août 1978.
- 10- R.C. French, "Error rate predictions and measurements in the mobile radio data channel", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 3, pp. 110-116, août 1978.
- 11- L. Deryck, "Natural propagation of electromagnetic waves in tunnels", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 3, pp. 145-150, août 1978.
- 12- T. Brenig, "Data transmission for mobile radio", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, n° 3, pp. 77-85, août 1978.

- 13- P.S. Henry, J.T. Ruscio, "A low loss diffraction grating frequency multiplexer", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-26, n° 6, pp. 428-433, juin 1978.
- 14- A.J. Rustako Jr., "An earth-space propagation measurement at Crawford Hill using the 12 GHz, CTS satellite beacon", Bell Syst. Tech. J., vol. 57, n° 5, pp. 1431-1448, mai-juin 1978.
- 15- J. Carl Leader, "Incoherent backscatter from rough surfaces: the two-scale model reexamined", Radio Sci., vol. 13, n° 3, pp. 441-458, mai-juin 1978.
- 16- F.H. Palmer, "The CRC VHF/UHF propagation prediction program: description and comparison with field measurements", AGARD Symp., Ottawa, avril 1978.
- 17- E.P. Gray, R.W. Hart, R.A. Farrell, "An application of variational principle for scattering by random rough surfaces", Radio Sci., vol. 13, n° 2, pp. 333-344, mars-avril 1978.
- 18- W.E. Thomson, P.F. Carvalno, "VHF and UHF links using mountains as reflectors", IEEE Trans. Commun., vol. COM-26, n° 3, pp. 391-399, mars 1978.
- 19- K.G. Gray, S.A. Bowhill, "On a method computing transient wave propagation in ionospheric regions", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-26, n° 1, pp. 183-184, janvier 1978.
- 20- S. Kozono, K. Watanabe, Correction "Influence of environmental buildings on UHF land mobile radio propagation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-26, n° 1, pp. 199-200, janvier 1978. (Voir référence 44).
- 21- A. Kinase, "Combined effect of terrestrial diffraction and ionospheric reflection on medium-frequency sky wave propagation", Proc. IEE, vol. 124, n° 12, pp. 1125-1126, décembre 1977.
- 22- A. Alford, "Re-radiation from tall guyed towers located in the strong field of a directional AM radio station", IEEE Trans. Broad., vol. BC-23, n° 4, pp. 97-106, décembre 1977.
- 23- D.E. James, R.A. Tell, T.W. Athey, N.N. Hankin, "Radio frequency radiation levels in urban areas", Radio Sci., vol. 12, n° 6, pp. 49-56, novembre-décembre 1977.
- 24- M.S. Pontes, "Estimation des propriétés statistiques de la dépolarisation par la pluie", Ann. Télécommun., Tome 32, nos 11-12, pp. 372-376, novembre-décembre 1977.

- 25- P. Delogne, P. Sobieski, "Structure fine de la transpolarisation par des hyperfréquences due aux précipitations", Ann. Télécommun., Tome 32, nos 11-12, pp. 377-385, novembre-décembre 1977.
- 26- P. Delogne, M. Lobelle, "Données numériques sur la propagation des hyperfréquences à travers la pluie", Ann. Télécommun., Tome 32, nos 11-12, pp. 386-391, novembre-décembre 1977.
- 27- V.N. Bringi, T.A. Seliga, "Diffusion par des hydrométéores non sphériques", Ann. Télécommun., Tome 32, nos 11-12, pp. 392-397, novembre-décembre 1977.
- 28- B.O. Maher, P.J. Murphy, "Un modèle théorique de l'effet de bouffées de vent sur la polarisation croisée causée par la pluie", Ann. Télécommun., Tome 32, nos 11-12, pp. 404-408, novembre-décembre 1977.
- 29- C. Capsoni, M. Mauri, A. Paraboni, "Effets incohérents de la polarisation électromagnétique à travers la pluie", Ann. Télécommun., Tome 32, nos 11-12, pp. 409-414, novembre-décembre 1977.
- 30- M.P.M. Hall, J.W.F. Goddard, "Variation des facteurs de réflectivité radar avec la hauteur due à la pluie et influence d'un cisaillement du vent sur les cellules de pluie", Ann. Télécommun., Tome 32, nos 11-12, pp. 444-448, novembre-décembre 1977.
- 31- M.S. Assis, C.M. Einloft, "A simple method for estimating rain attenuation distribution", Ann. Télécommun., Tome 32, nos 11-12, pp. 478-480, novembre-décembre 1977.
- 32- K. Bullington, "Radio propagation for vehicular communications", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 295-308, novembre 1977.
- 33- N. Shepherd, "Radio wave loss deviation and shadow loss at 900 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 309-312, novembre 1977.
- 34- K. Allsebrook, D.J. Parsons, "Mobile radio propagation in British cities at frequencies in VHF and UHF bands", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 313-322, novembre 1977.
- 35- J. Durkin, "Computer prediction of service areas for VHF and UHF mobile radio services", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 323-327, novembre 1977.

- 36- D.C. Cox, "Multipath delay spread and path-loss correlation for 910 MHz urban mobile radio propagation", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 340-344, novembre 1977.
- 37- P.I. Wells, "The attenuation of UHF radio signals by houses", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 358-362, novembre 1977.
- 38- M. Komura, T. Hagihira, M. Ogasawara, "New radio paging system and its propagation characteristics", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 367-371, novembre 1977.
- 39- S.T. Hong, I. Sreenivasiah, A. Ishimaru, "Plane wave pulse propagation through random media", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 6, pp. 822-828, novembre 1977.
- 40- A.H. Lagrone, "Propagation of VHF and UHF electromagnetic waves over a grove of trees in full leaf", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 6, pp. 866-868, novembre 1977.
- 41- A.D. Fisher, "A model for microwave intensity propagation in an inhomogeneous medium", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 6, pp. 876-881, novembre 1977.
- 42- G. De Vito, "Influence of the earth in the HF transmission of LPD antennas", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 6, pp. 891-895, novembre 1977.
- 43- R. Jensen, "900 MHz mobile radio propagation in the Copenhagen area", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, n° 4, pp. 328-331, novembre 1977.
- 44- S. Kozono, K. Watanabe, "Influence of environmental buildings on UHF land mobile radio propagation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, n° 10, pp. 1133-1143, octobre 1977. (Voir référence 20).
- 45- D. Minoli, K.S. Schneider, "A technique for estimating the minimum number of frequencies required for urban mobile radio communication", IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, n° 9, pp. 1054-1056, septembre 1977.
- 46- H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, n° 7, pp. 673-680, juillet 1977.
- 47- T. Tamir, "Radio wave propagation along mixed paths in forest environments", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 4, pp. 471-476, juillet 1977.

- 48- A.W. Biggs, "Fourier transforms in propagation and scattering problems", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-25, n° 4, pp. 585-586, juillet 1977.
- 49- B.G. Evans, N.K. Uzunoglu, A.R. Holt, "Scattering of electromagnetic radiation by precipitation parties and propagation characteristics of terrestrial and space communication systems", Proc. IEE, vol. 124, n° 5, pp. 417-425, mai 1977.
- 50- K. Allsebrook, J.D. Parsons, "Mobile radio propagation in British cities at frequencies in VHF and UHF bands", Proc. IEE, vol. 124, n° 2, pp. 95-103, février 1977.
- 51- H.E. Whitney, S. Basu, "The effect of ionospheric scintillation on VHF/UHF satellite communications", Radio Sci., vol. 12, n° 1, pp. 123-134, janvier-février 1977.
- 52- A. Malaga, "Pulse transmission over the fading ionospheric reflection channel", Doctoral thesis, University of Massachusetts, 1977.
- 53- L.C. Lee, "Use of the minimum crosspolarization modes through rain to reduce the rain crosspolarization in communication systems", Doctoral thesis, Stanford University, 1977.
- 54- A. Afrashteh, "Remote sensing of the earth's atmosphere by the use of radiation from ozone, oxygen and water vapor", Doctoral thesis, University of Texas, 1977.
- 55- S.K. Chang, "On electromagnetic wave scattering by buried obstacles", Doctoral thesis, University of California, Berkeley, 1977.
- 56- H. Hashemi, "Simulation of the urban radio propagation channel", Doctoral thesis, University of California, Berkeley, 1977.
- 57- N. Yoshikawa, T. Nomura, "On the design of a small zone land mobile radio system in UHF band", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-25, n° 3, pp. 57-68, août 1976.
- 58- T. Nomura, N. Yoshikawa, "Multiple radio zone plans in mobile radio systems", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-25, n° 3, pp. 68-75, août 1976.
- 59- E.D. Damosso, S. De Padova, "Propagation and radiation of VHF radio signals in motorway tunnels", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-25, n° 2, pp. 39-45, mai 1976.



- 73- H.S. Oranç, "Ignition noise measurement in the VHF/UHF bands", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-17, n° 2, pp. 54-65, mai 1975.
- 74- V.D. Kuznetsov, "The reflection of television signals under urban conditions", Telecom. Radio Eng., vol. 29, n° 4, pp. 1-6, avril 1975.
- 75- V.S. Mikhailenko, V.E. P'yuk, D.G. Vorob'yev, "FM facsimile transmission over urban and rural network channels", Telecom. Radio Eng., vol. 28, n° 4, pp. 30-35, avril 1975.
- 76- D.C. Cox, R.P. Leck, "Distribution of multipath delay spread and average excess delay for 910 MHz urban mobile radio paths", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-23, n° 2, pp. 206-213, mars 1975.
- 77- P.S. Henry, "Measurement and frequency extrapolation of microwave attenuation statistics on the earth-space paths at 13, 19 and 30 GHz", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-23, n° 2, pp. 271-274, mars 1975.
- 78- C.E. Dadson, J. Durkin, R.E. Martin, "Computer prediction of field strength in the planning of radio systems", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-24, n° 1, pp. 1-8, février 1975.
- 79- W.B. Jones Jr., S. Riter, R. Hambrick, "Telecommunication in urban public services", IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, n° 1, pp. 15-19, janvier 1975.
- 80- H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation", Doctoral thesis, University of California, Berkeley, 1975.
- 81- S.H. Cho, "Electromagnetic wave propagation over non-uniform surface impedance planes", Doctoral thesis, University of Wisconsin, 1975.
- 82- H.R. Khamsi, "Rough surface scattering based on facet model", Doctoral thesis, University of Kansas, 1975.
- 83- A. Sobti, "Terrain response to an orbiting microwave radiometer/scatterometer", Doctoral thesis, University of Kansas, 1975.
- 84- W.J.H. Kirchhoff Volker, "Electric fields in the ionosphere", Doctoral thesis, Pennsylvania State University, 1975.
- 85- C.B. Cloonan, "A study of electromagnetic ground wave propagation in the presence of a cliff", Doctoral thesis, University of Colorado, 1975.
- 86- R.A. Tell, "Signal polarizations in the VHF and UHF broadcast spectrum", IEEE Trans. Broad., vol. BC-20, n° 4, pp. 73-76, décembre 1974.

- 87- D.O. Reudink, "Properties of mobile radio propagation above 400 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-23, n° 4, pp. 143-160, novembre 1974.
- 88- S.B. Rhee, G.I. Zysman, "Results of suburban base station spatial diversity - Measurement in the UHF band", IEEE Trans. Commun., vol. COM-22, n° 10, pp. 1630-1635, octobre 1974.
- 89- M.G. Holland, L.T. Clairbone, "Practical surface acoustic wave devices", Proc. IEEE, vol. 62, n° 5, pp. 582-611, mai 1974.
- 90- S. Rosenbaum, L.W. Bowles, "Clutter return from vegetated areas", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-22, n° 3, pp. 227-236, mars 1974.
- 91- R.I. Beckwith, A.D. Bailey, Rao N. Narayana, "Application of ionospheric predictions to HF propagation in three dimensions", Radio Sci., vol. 9, n° 3, pp. 379-387, mars 1974.
- 92- A. Blomquist, L. Ladell, "Prediction and calculation of transmission loss in different types of terrain", NATO AGARD Conference Publ., CP 144, Research Institute of National Defense, Dept. 3, S-10450, Stockholm, Sweden, pp. 32/1-32/17.
- 93- M.N. Parker, "Radio wave scattering from rough surfaces and the estimation of surface shape", Doctoral thesis, Stanford University, 1974.
- 94- L.I. Lo, "Propagation of millimeter waves through clouds", Doctoral thesis, University of Texas, 1974.
- 95- V. Vogel, "Polarization effects for millimeter wave propagation in rain", Doctoral thesis, University of Texas, 1974.
- 96- U. Charash, "A study of multipath reception with unknown delay", Doctoral thesis, University of California, Berkeley, 1974.
- 97- R.M. Axline Jr., "Experimental and simulated study of scattering from randomly rough surfaces", Doctoral thesis, University of Kansas, 1974.
- 98- R.G. Finch, "Spectrum utilization efficiency in land mobile radio service", Doctoral thesis, Purdue University, 1974.
- 99- I.E. Golubtsov, E.A. Melamud, "Residual attenuation of multiplexing equipment channels in urban telephone networks", Telecom. Radio Eng., vol. 27, n° 12, pp. 1-5, décembre 1973.

- 100- D.C. Cox, "910 MHz urban mobile radio propagation: multipath characteristics in New York City", IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, n° 11, pp. 1188-1193, novembre 1973; a paru aussi dans: IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, n° 4, pp. 104-110, novembre 1973.
- 101- D.O. Reudink, M.F. Wazowicz, "Some propagation experiments relating foliage loss and diffraction loss at X-band and UHF frequencies", IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, n° 11, pp. 1198-1206, novembre 1973; a paru aussi dans: IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, n° 4, pp. 114-123, novembre 1973.
- 102- R. Esposito, R.E. Buck, "A mobile wide-band measurement system for urban man-made noise", IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, n° 11, pp. 1224-1231, novembre 1973; a paru aussi dans: IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, n° 4, pp. 140-148, novembre 1973.
- 103- D. Middleton, "Man-made noise in urban environments and transportation systems: models and measurements", IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, n° 11, pp. 1232-1240, novembre 1973; a paru aussi dans: IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, n° 4, pp. 148-157, novembre 1973.
- 104- M.L. Cunningham, "900 MHz land mobile radio improved using circular polarization", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, n° 4, pp. 237-239, novembre 1973.
- 105- F.G. Walther, A.J. Budreau, P.H. Carr, "Multiple UHF frequency generation using acoustic surface wave filters", Proc. IEEE, vol. 61, n° 1, pp. 1162-1165, août 1973.
- 106- S. Riter, "The effects of background noise on phase ranging measurements in urban vehicle monitoring systems", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, n° 3, pp. 81-85, août 1973.
- 107- G.R. Jiracek, "Numerical comparisons of a modified Rayleigh approach with other rough surface EM scattering solutions", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-21, n° 3, pp. 393-396, mai 1973.
- 108- A.P. Barsis, "Determination of service area of VHF/UHF land mobile and broadcast operations over irregular terrain", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, n° 2, pp. 21-30, mai 1973.

- 109- L.C. Tillotson, C.L. Ruthroff, V.K. Prabhu, "Efficient use of the radio spectrum and bandwidth expansion", Proc. IEEE, vol. 61, n° 4, pp. 445-452, avril 1973.
- 110- D.C. Cox, "A measured delay-doppler scattering function for multipath propagation at 910 MHz in an urban mobile radio environment", Proc. IEEE, vol. 61, n° 4, pp. 479-480, avril 1973.
- 111- P. Edenhofer, J.N. Franklin, C.H. Papas, "A new inversion method in electromagnetic wave propagation", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-21, n° 2, pp. 260-263, mars 1973.
- 112- N.E. Feldman, "System designs for the Dayton metropolitan area", IEEE Trans. Broad., vol. BC-19, n° 1, pp. 2-17, mars 1973.
- 113- M.B. Godfrey, "On the operation of automated ground transportation systems. Part I: Urban problems and perspectives", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, n° 1, pp. 1-7, février 1973.
- 114- D.A. Gray, "Unusually high earth-space path attenuations measured using a 6.4 GHz radiometer", Proc. IEEE, vol. 61, n° 1, pp. 138-140, janvier 1973.
- 115- T.H. Mak, "Diffraction of surface wave by wedges", Doctoral thesis, John Hopkins University, 1973.
- 116- M.K. Lee, "Propagation studies using a theoretical ionospheric model", Doctoral thesis, Pennsylvania State University, 1973.
- 117- J.N. Rowe, "Model studies of the lower ionosphere", Doctoral thesis, Pennsylvania State University, 1973.
- 118- B.N. Belanger, "Stability of propagation systems", Doctoral thesis, University of Rhode Island, 1973.
- 119- P.H. Willey, "Depolarization effects of rainfall on millimeter wave propagation", Doctoral thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1973.
- 120- H.S. Lin, "Communication model for the turbulent atmosphere", Doctoral thesis, Case Western Reserve University, 1973.
- 121- D.C. Cox, "Time and frequency domain characterization of multipath propagation at 910 MHz in a suburban mobile radio environment", Radio Sci., vol. 7, n° 12, pp. 1067-1077, décembre 1972.

- 122- T.L. Dahl, D.L. Murphree, "Numerical solution for propagation of longitudinal waves along the geomagnetic field using a three fluid ionosphere model", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-20, n° 6, pp. 807-809, novembre 1972.
- 123- J.R. Wait, "Normal mode model for electromagnetic propagation in the earth crust waveguide", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-20, n° 6, pp. 811-813, novembre 1972.
- 124- F.G. Jenks, P.D. Morgan, C.S. Warren, "Use of four-level phase modulation for digital mobile radio", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-14, n° 4, pp. 113-129, novembre 1972.
- 125- L. Schiff, "Statistical suppression of interference with diversity in a mobile radio environment", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21, n° 4, pp. 121-128, novembre 1972.
- 126- D.C. Cox, "Delay Doppler characteristics of multipath propagation at 910 MHz in a suburban mobile radio environment", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-20, n° 5, pp. 625-636, septembre 1972.
- 127- R.S. Chu, T. Tamir, "Wave propagation and dispersion in space-time periodic media", Proc. IEE, vol. 119, n° 7, pp. 797-807, juillet 1972.
- 128- P. Knight, "Propagation coefficient of the Beverage aerial", Proc. IEE, vol. 119, n° 7, pp. 821-827, juillet 1972.
- 129- D.O. Reudink, "Comparison of radio transmission at X-band frequencies in suburban and urban areas", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-20, n° 4, pp. 470-474, juillet 1972.
- 130- D. Middleton, "Statistical-physical models of urban radio noise environments. Part I: Foundations", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-14, n° 2, pp. 38-56, mai 1972.
- 131- D.M. Black, D.O. Reudink, "Some characteristics of mobile radio propagation at 836 MHz in the Philadelphia area", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21, n° 3, pp. 45-51, mai 1972.
- 132- D.C. Cox, D.O. Reudink, "Effects of some non-uniform spatial demand profiles on mobile radio system performance", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21, n° 3, pp. 62-67, mai 1972.

- 133- E. Bahar, "Radio wave propagation over a rough variable impedance boundary: Part I- Full-wave analysis", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-20, n° 3, pp. 354-362, mai 1972.
- 134- E. Bahar, "Radio wave propagation over a rough variable impedance boundary: Part II- Application of full-wave analysis", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-20, n° 3, pp. 362-368, mai 1972.
- 135- J.W. Rouse Jr., R.K. Moore, "Measured surface spectrum dependence of back-scattering from rough surface", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-20, n° 2, pp. 211-214, mars 1972.
- 136- G.L. Turin, F.D. Clapp, T.L. Johnston, S.B. Fine, D. Lavry, "A statistical model of urban multipath propagation", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21, n° 1, pp. 1-9, février 1972.
- 137- G.L. Turin, W.S. Jewell, T.L. Johnston, "Simulation of urban vehicle-monitoring systems", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21, n° 1, pp. 9-17, février 1972.
- 138- M.J. Gans, "A power spectral theory of propagation in the mobile radio environment", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21, n° 1, pp. 27-38, février 1972.
- 139- H. Staras, S.N. Honickman, "The accuracy of vehicle location by trilateration in a dense urban environment", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21, n° 1, pp. 38-43, février 1972.
- 140- D.P. Greenwood, E.J. Powers Jr., "The scattering from curved rough surfaces of an EM wave transmitted through a turbulent medium", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-20, n° 1, pp. 19-30, janvier 1972.
- 141- D.T. Mangano, "Multidimensional statistical communication theory", Doctoral thesis, Polytechnic Institute of Brooklyn, 1972.
- 142- T.F. Smith, "Surface roughness effects on bidirectional reflectances", Doctoral thesis, University of Illinois, 1972.
- 143- R.I. Beckwith, "An investigation of directional propagation effects in high frequency radio source location", Doctoral thesis, University of Illinois, 1972.
- 144- H.S. Gruenberger, "Diffraction theory of echelette gratings (a wedge)", Doctoral thesis, John Hopkins University, 1972.

- 145- J.D. Mathews, "Ionospheric propagation phenomena", Doctoral thesis, Case Western Reserve University, 1972.
- 146- M.S. Sohel, "Rough surface doppler-return-spectra", Doctoral thesis, University of Houston, 1972.
- 147- J.K. Derosa, "The characterization of multipath and doppler fading in the earth scatter communication, navigation, and radar links", Doctoral thesis, Northeastern University, 1972.
- 148- M.R. Dresp, "Radio wave propagation in the presence of an elevated tropospheric duct", Doctoral thesis, University of Pennsylvania, 1972.
- 149- O. Rue, "Intermodulation distortion owing to multipath propagation over F.M./F.D.M. microwave links", Proc. IEE, vol. 118, n° 12, pp. 1687-1691, décembre 1971.
- 150- W.C. Jakes Jr., "A comparison of specific space diversity techniques for reduction of fast fading in UHF mobile radio systems", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-20, n° 4, pp. 81-93, novembre 1971.
- 151- H.T. Chang, "The effect of tropospheric layer structures on long range VHF radio propagation", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-19, n° 6, pp. 751-756, novembre 1971.
- 152- J.P. Laussade, A. Yariv, Comment on D.A. de Wolf's: "A theoretical study of optical wave propagation through random atmospheric turbulence", Radio Sci., vol. 6, n° 10, pp. 841-841, octobre 1971.
- 153- A.P. Barsis, "Radio wave propagation over irregular terrain on the 76 to 9200 MHz frequency range", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-20, n° 3, pp. 41-62, août 1971.
- 154- C.T. Hodge, "A note on scattering from a slightly rough surface", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-19, n° 4, pp. 558-561, juillet 1971.
- 155- B.A. Shvarts, "Vertical loop antennas for extending inductive communications coverage of armored areas in industrial buildings", Telecom. Radio Eng., vol. 25, n° 7, pp. 50-55, juillet 1971.
- 156- I.H. Gerks, "Computing the effects of tropospheric refraction at frequencies below 10 MHz", Radio Sci., vol. 6, n° 7, pp. 681-687, juillet 1971.

- 157- D. Ongaro, "Multipath intermodulation associated with operation of FM-FDM radio relay in heavily built areas", IEEE Trans. Commun., vol. COM-19, n° 3, pp. 293-301, juin 1971.
- 158- D.C. Cox, "Doppler spectrum measurements at 910 MHz over a suburban mobile radio path", Proc. IEEE, vol. 59, n° 6, pp. 1017-1025, juin 1971.
- 159- R.H. Ott, "An alternative integral equation for propagation over irregular terrain", Radio Sci., vol. 6, n° 4, pp. 429-437, avril 1971.
- 160- M.S. Assis, "A simplified solution to the problem of multiple diffraction over rounded obstacles", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-19, n° 3, pp. 292-295, mars 1971.
- 161- C.N. Lynk Jr., "Analysis of multiplex techniques for land mobile radio services", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-20, n° 1, pp. 1-12, février 1971.
- 162- P. Misme, A. Marten, "Reflexions d'ondes électromagnétiques par des surfaces irrégulières et optique géométrique", Ann. Télécommun., Tome 26, nos 1-2, pp. 31-36, janvier-février 1971.
- 163- D.E. Kaufman, "A vector solution for electromagnetic wave scattering from rough surface of arbitrary dielectric constant", Radio Sci., vol. 6, n° 1, pp. 7-21, janvier 1971.
- 164- A.D. Varvatsis, M.I. Sancer, "On the renormalization method in random wave propagation", Radio Sci., vol. 6, n° 1, pp. 87-97, janvier 1971.
- 165- H.E. King, C.J. Zamites Jr., D.E. Snow, R.I. Colliton, "Terrain backscatter measurements at 40 to 90 GHz", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-18, n° 6, pp. 780-785, novembre 1970.
- 166- D.N. Travers, M.P. Castles, W.M. Sherrill, "Radio location experiments in an urban environment", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-12, n° 4, pp. 174-178, novembre 1970.
- 167- W.H. Peake, D.E. Barrick, A.K. Fung, H.L. Chan, Comments on "Backscattering of waves by composite rough surfaces", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-18, n° 5, pp. 716-726, septembre 1970.
- 168- T.S. Golden, "A note on correlation distance of VHF fading from irregularities in the equatorial ionosphere", Radio Sci., vol. 5, n° 6, pp. 943-949, juin 1970.

- 169- R.H. Ott, L.A. Berry, "An alternative integral equation for propagation over irregular terrain", Radio Sci., vol. 5 n° 5, pp. 767-773, mai 1970.
- 170- E.N. Skomal, "The range and frequency dependence of VHF-UHF man-made radio noise in and above metropolitan areas", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-19, n° 2, pp. 213-222, mai 1970.
- 171- D.E. Barrick, "Unacceptable height correlation coefficients and the quasi specular component in rough surface scattering", Radio Sci., vol. 5, n° 4, pp. 647-655, avril 1970.
- 172- H.F. Schmid, "A prediction model for multipath propagation of pulse signals at VHF and UHF over irregular terrain", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-18, n° 2, pp. 253-259, mars 1970.
- 173- K. Hacking, "UHF propagation over rounded hills", Proc. IEE, vol. 117, n° 3, pp. 499-511, mars 1970.
- 174- R.E. Jones, C.W. Harrison Jr., "Backscattering from the rough surface of a sphere illuminated by a moving source", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-18, n° 1, pp. 128-131, janvier 1970.
- 175- T.B. Jones, W. Keenlside, "Comparison of measured and calculated oblique incidence radio wave propagation characteristics", Proc. IEE, vol. 117, n° 1, pp. 16-23, janvier 1970.
- 176- G.W. Paltridge, "Reflection from elevated layers in the troposphere", Proc. IEE, vol. 117, n° 1, pp. 23-27, janvier 1970.
- 177- H.T. Dougherty, "Radio wave propagation for irregular boundaries", Radio Sci., vol. 4, n° 11, pp. 997-1005, novembre 1969.
- 178- A.H. Manson, M.W.J. Merry, R.A. Vincint, "Relationship between the partial reflection of radio waves from the lower ionosphere and irregularities as measured by rocket probes", Radio Sci., vol. 4, n° 10, pp. 955-958, octobre 1969.
- 179- A.K. Fung, H.L. Chan, "Backscattering of waves by composite rough surfaces", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-17, n° 5, pp. 577-585, septembre 1969.
- 180- R. Edwards, J. Durkin, "Computer predictions of service areas for VHF mobile radio networks", Proc. IEE, vol. 116, n° 9, pp. 1493-1500, septembre 1969.

- 181- U. Kühn, "VHF and UHF propagation measurements in irregular terrain", Proc. IEE, vol. 116, n° 6, pp. 905-911, juin 1969.
- 182- E.N. Skomal, "Analysis of airborne VHF/UHF incidental noise over metropolitan areas", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-11, n° 2, pp. 76-83, mai 1969.
- 183- A.F. Rashid, "A statistical signal prediction model for communication receivers", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-11, n° 2, pp. 90-97, mai 1969.
- 184- E.N. Skomal, "Distribution and frequency dependence of incidental man-made HF/VHF noise in metropolitan areas", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-11, n° 2, pp. 66-76, mai 1969.
- 185- K. Davies, D.M. Baker, N.J.F. Chang, "Comparison between formulas for ionospheric radio propagation and atmospheric wave propagation", Radio Sci., vol. 4, n° 3, pp. 231-235, mars 1969.
- 186- A. Kinase, "Influences of terrain irregularities and environmental clutter surroundings on the propagation of broadcasting waves in the UHF and VHF bands", NHK Technical Monograph, n° 14, pp. 1-57, mars 1969.
- 187- G.R. Sugar, "Radio propagation by reflection from meteor trails", Proc. IEEE, vol. 52, n° 2, pp. 116-136, février 1969.
- 188- G. Franceschetti, Correction on "An approach to tropospheric duct propagation", Proc. IEEE, vol. 52, n° 2, p. 184, février 1969.
- 189- G.L. Austin, A.H. Manson, "On the nature of the irregularities that produce partial reflections of radio waves from the lower ionosphere (70-100 km)", Radio Sci., vol. 4, n° 1, pp. 35-41, janvier 1969.
- 190- J. Durkin, "A study of computer methods in mobile radio planning", Doctoral thesis, Victoria University of Manchester, 1969.
- 191- J.R. Wait, K.P. Spies, "Radio propagation over a cylindrical hill including the effect of a surmounted obstacle", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-16, n° 6, pp. 700-706, novembre 1968.
- 192- K.M. Mitzner, "Effective boundary conditions for reflection and transmission by an absorbing shell of arbitrary shape", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-16, n° 6, pp. 706-712, novembre 1968.

- 193- G.R. Velenznela, "Scattering of electromagnetic waves from a tilted slightly rough surface", Radio Sci., vol. 3, n° 11, pp. 1057-1066, novembre 1968.
- 194- J.R. Wait, "Diffraction and scattering of the electromagnetic grandwave by terrain features", Radio Sci., vol. 3, n° 10, pp. 995-1004, octobre 1968.
- 195- E.N. Bramley, "Correlation of signal fluctuations at two frequencies in propagation through an irregular medium", Proc. IEE, vol. 115, n° 10, pp. 1439-1443, octobre 1968.
- 196- R.H. Clark, "A statistical theory of mobile radio propagation", Bell Syst. Tech. J., vol. 47, n° 7, pp. 957-1000, juillet-août 1968.
- 197- E.L. Johansen, "Surface wave radiation from a thick, semi-infinite plane with a reactive surface", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-16, n° 4, pp. 391-399, juillet 1968.
- 198- G. Hyde, R.C. Spencer, "Studies of the focal region of a spherical reflector: polarization effects", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-16, n° 4, pp. 399-405, juillet 1968.
- 199- D.E. Barrick, "Rough surface scattering based on the specular point theory", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-16, n° 4, pp. 449-454, juillet 1968.
- 200- J.R. Wait, Comments on the "Application of diffractions by convex surfaces to irregular terrain situation", Radio Sci., vol. 3, n° 6, pp. 638-639, juin 1968.
- 201- M.P.M. Hall, "VHF radio propagation by double-hop reflection from a tropospheric layer", Proc. IEE, vol. 115, n° 4, pp. 503-507, avril 1968.
- 202- V.V. Leipor, "Numerical approach for predicting radiation patterns of HF-VHF antennas over irregular terrain", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-16, n° 2, pp. 273-274, mars 1968.
- 203- D.C. Cooper, "Errors in directional measurements using the relative amplitudes of signals received by two aerials", Proc. IEE, vol. 114, n° 12, pp. 1834-1837, décembre 1967.
- 204- P.A. Bradley, "Limiting polarization of radio waves of medium and high frequency reflected from the ionosphere", Proc. IEE, vol. 114, n° 12, pp. 1837-1841, décembre 1967.

- 205- T. Tamir, "On radio-wave propagation in forest environments", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-15, n° 6, pp. 806-817, novembre 1967.
- 206- J.S. Nicolis, "Correlation between the entropy of the envelope fluctuations of a UHF radio signal and the corresponding thermodynamic stability of the tropospheric common volume", Proc. IEEE, vol. 55, n° 10, pp. 1737-1746, octobre 1967.
- 207- A.T. Waterman Jr., A.B. Carlson, Further comment on "Microwave propagation over mountain diffraction paths", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-15, n° 5, pp. 716-717, septembre 1967.
- 208- R.F. Hartmann, "Graphical attenuation calculations for irregular terrain", Radio Sci., vol. 2, n° 9, pp. 1109-1111, septembre 1967.
- 209- C.K.H. Tsao, J.T. de Bettencourt, "Measurement of the phase constant for rock propagated radio signals", IEEE Trans. Commun., vol. COM-15, n° 4, pp. 592-596, août 1967.
- 210- J. Bell, "Propagation measurements at 3.6 and 11 GHz over a line of sight radio path", Proc. IEE, vol. 114, n° 5, pp. 545-550, mai 1967.
- 211- J.W. Strohbehm, S.F. Clifford, "Polarization and angle of arrival fluctuations for a plane wave propagated through a turbulent medium", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-15, n° 3, pp. 416-422, mai 1967.
- 212- J.W. Ames, R.D. Egan, "Digital recording and short term prediction of oblique ionospheric propagation", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-15, n° 3, pp. 382-390, mai 1967.
- 213- W.L. Behrend, "Multiplexing land mobile base station signals on the carrier of an FM broadcast station", IEEE Trans. Broad., vol. BC-13, n° 2, pp. 50-57, avril 1967.
- 214- N.C. Colby, "The use of mobile radio in on-the-spot new coverage", IEEE Trans. Broad., vol. BC-13, n° 2, pp. 68-73, avril 1967.
- 215- H.P. Hsu, E.N. Skomal, Comment on "Distribution and frequency of unintentionally generated man-made VHF/UHF noise in metropolitan areas, Part II: theory", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-9, n° 1, pp. 23-24, mars 1967.

- 216- K. Groves, P.N. Ridoult, "Effect of multipath propagation on performance of narrowband frequency-modulation radiotelegraph systems", Proc. IEE, vol. 113, n° 12, pp. 1934-1943, décembre 1966.
- 217- J.J. Bowman, V.H. Weston, "The effect of curvature on the reflection coefficient of layered absorbers", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-14, n° 6, pp. 760-768, novembre 1966.
- 218- R.A. Brokelman, E.S. Hagfors, Note on "The effect of shadowing on the backscattering of waves from a random rough surface", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-14, n° 5, pp. 621-626, septembre 1966.
- 219- E. Sofaer, J.W. Stark, "Tropospheric radio wave propagation over mixed land and sea paths", Proc. IEE, vol. 113, n° 8, pp. 1291-1298, août 1966.
- 220- G.C. Evans, "Influence of ground reflections on radar target-tracking accuracy", Proc. IEE, vol. 113, n° 8, pp. 1281-1287, août 1966.
- 221- J. Deygout, "Multiple knife-edge diffraction of microwaves", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-14, n° 4, pp. 480-489, juillet 1966.
- 222- E. Sofaer, C.P. Bell, "Factors affecting the propagation and reception of broadcasting signals in the UHF bands", Proc. IEE, vol. 113, n° 7, pp. 1133-1140, juillet 1966.
- 223- R.E. Wilkerson, "Approximation to the double knife-edge attenuation coefficient", Radio Sci., vol. 1, n° 12, pp. 1439-1443, décembre 1966.
- 224- E.N. Skomal, K.C. Reed, "Computer study of a diversity augmented, vehicular, radio communication system in a man-made noise environment", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-8, n° 2, pp. 74-81, juin 1966.
- 225- K. Macking, "Approximate methods for calculating multiple-diffraction losses", Electron. Lett., vol. 2, n° 5, pp. 178-180, mai 1966.
- 226- A.P. Barsis, L.G. Hause, "Mountain obstacle diffraction measurements at 751 MHz and 9.2 GHz", Radio Sci., vol. 1, n° 1, pp. 61-78, janvier 1966.
- 227- R.W. Meadows, R.E. Lindgren, J.C. Samuel, "Measurement of multipath propagation over a line-of-sight radio link at 4 GHz using frequency-sweep technique", Proc. IEE, vol. 113, n° 1, pp. 41-49, janvier 1966.
- 228- R.D. Kodis, A note "On the theory of scattering from an irregular surface", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-14, n° 1, pp. 77-82, janvier 1966.

- 229- A.F. Barghausen, D.A. Lilie, "Some evidence of the influence of long-term magnetic activity of medium frequency sky wave propagation", Proc. IEEE, vol. 53, n° 12, pp. 2115-2116, décembre 1965.
- 230- E.N. Skomal, "Distribution and frequency of unintentionally generated man-made VHF/UHF noise in metropolitan areas, Part II: theory", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-7, n° 4, pp. 420-427, décembre 1965.
- 231- L. Boithias, J. Battesti, "Les faisceaux hertziens transhorizon de haute qualité (2ème partie)", Ann. Télécommun., vol. 20, n°s 11-12, pp. 273-254, novembre-décembre 1965.
- 232- J.R. Wait, "Propagation of electromagnetic pulses in terrestrial waveguides", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-13, n° 6, pp. 904-918, novembre 1965.
- 233- E.N. Skomal, "Distribution and frequency dependence of unintentionally generated man-made VHF/UHF noise in metropolitan areas", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-7, n° 3, pp. 263-279, septembre 1965.
- 234- L. Boithias, J. Battesti, "Les faisceaux hertziens transhorizon de haute qualité (1ère partie)", Ann. Télécommun., vol. 20, n°s 7-8, pp. 138-150, juillet-août 1965.
- 235- R.L. Fante, "Discussion of a model for rough surface scattering", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-13, n° 4, pp. 652-654, juillet 1965.
- 236- P. Beckman, "Shadowing of random rough surfaces", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-13, n° 3, pp. 384-389, mai 1965.
- 237- R. Burman, "The reflections of VHF waves from tropospheric layers with hyperbolic profiles", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-13, n° 2, pp. 324-325, mars 1965.
- 238- H.T. Dougherty, L.J. Maloney, "Application of diffraction by convex surfaces to irregular terrain situations", Radio Sci., vol. 68D, n° 2, pp. 239-250, décembre 1964.
- 239- C.R. Burrows, Addendum to "The effect of the earth's curvature on ground-wave propagation", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-12, n° 6, pp. 789-791, novembre 1964.

- 240- R. Ruffine, Note on "The scattering of waves by rough surfaces", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-12, n° 6, pp. 802-803, novembre 1964.
- 241- J.F. Ossanna Jr., "Model for mobile radio fading due to building reflections: theoretical and experimental fading waveform power spectra", Bell Syst. Tech. J., vol. 23, n° 6, pp. 2935-2971, novembre 1964.
- 242- J.R. Wait, "Coherence theories of tropospheric radio propagation", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-12, n° 5, pp. 649-651, septembre 1964.
- 243- R.H. Clarke, G.O. Hendry, "Power reflected from rough surfaces", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-12, n° 3, pp. 353-363, mai 1964.
- 244- K. Bullington, "Reflections from an exponential atmosphere", Bell Syst. Tech. J., vol. 22, n° 6, pp. 2849-2867, novembre 1963.
- 245- G. Franceschetti, "An approach to tropospheric duct propagation", Proc. IEEE, vol. 51, n° 11, pp. 1481-1486, novembre 1963.
- 246- W.E. Monow Jr., D. Karp, R.V. Locke, W.C. Provencher, "The influence of terrain shielding on radio wave propagation", Proc. IEEE, vol. 51, n° 6, pp. 955-956, juin 1963.
- 247- J. Carolan Jr., J.T. de Bettencourt, "Radio waves in rock near overburden-rock interface", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-11, n° 3, pp. 336-339, mai 1963.
- 248- J.S. Smith, D.E. Noble, "The history of land-mobile radio communications", Proc. IEEE, vol. 51, n° 1, pp. 253-254, janvier 1963.
- 249- C.D. Beach, J.M. Trecker, "Method for predicting interchannel modulation due to multipath propagation in FM and PM tropospheric radio systems", Bell Syst. Tech. J., vol. 22, n° 1, pp. 1-36, janvier 1963.
- 250- R.H. Clarke, "Theoretical characteristics of radiation reflected obliquely from a rough conducting surface", Proc. IEEE, vol. 51, n° 1, pp. 91-101, janvier 1963.
- 251- H.G. Booker, "The future of propagation research and development", Proc. IRE, vol. 50, n° 5, pp. 717-719, mai 1962.
- 252- A.P. Barsis, K.A. Norton, P.L. Rice, "Predicting the performance of tropospheric telecommunication links, singly and in tandem", IRE Trans. Commun. Syst., vol. CS-10, pp. 2-22, mars 1962.

- 253- E. Wolf, R. Kopeck, A. Mondloch, "Millimeter wavelength atmospheric absorption", Proc. IRE, vol. 50, n° 2, pp. 478-478, mars 1962.
- 254- A.B. Glenn, G. Lieberman, "Effect of propagation fading and antenna fluctuations on communication systems in a jamming environment", IRE Trans. Commun. Syst., vol. CS-10, pp. 43-60, mars 1962.
- 255- G. Millington, R. Hewitt, F.S. Immirzi, "Double knife-edge diffraction in field-strength predictions", IEE Monograph n° 507E, pp. 419-429, mars 1962.
- 256- D.R.W. Thomas, "Probabilities of interference with mobile field radio derived from a field strength survey at 59 MHz", Proc. IEE, vol. 108, n° 5, pp. 264-273, mai 1961.
- 257- G.V. Geiger, N.D. La Frenais, W.J. Lucas, "Propagation measurements at 3480 and 9640 MHz beyond the radio horizon", Proc. IEE, vol. 107, Part B, pp. 531-547, novembre 1960.
- 258- K.E. Randall, F.L. Ward, "Diffusion of sound in small rooms", Proc. IEE, vol. 107, Part B, pp. 439-451, septembre 1960.
- 259- F. Horner, "Extra-terrestrial radio noise as a source of interference in the frequency range 30-1000 MHz", Proc. IEE, vol. 107, Part B, pp. 373-377, juillet 1960.
- 260- H.T. Head, "The influence of trees on television field strengths at UHF", Proc. IRE, vol. 48, n° 6, pp. 1016-1024, juin 1960.
- 261- A.W. Straiton, C.W. Tolbert, "Anomalies in the absorption of radio waves by atmospheric gases", Proc. IRE, vol. 48, n° 5, pp. 898-903, mai 1960.
- 262- F. Kift, "The propagation of high-frequency radio waves to long distances", Proc. IEE, vol. 107, Part B, pp. 127-140, mars 1960.
- 263- J.K.S. Jowett, "VHF field strength measurement over paths in the Irish sea involving mountain obstacles", Proc. IEE, vol. 107, Part B, pp. 141-150, mars 1960.
- 264- G.D. Monteath, D.J. Whythe, K.W.T. Hughes, "A method of amplitude and phase measurement in the VHF-UHF band", Proc. IEE, vol. 107, Part B, pp. 150-154, mars 1960.
- 265- A.D. Watt, E.F. Florman, R.W. Plush, "A note regarding the mechanism of UHF propagation beyond the horizon", Proc. IRE, vol. 48, n° 2, pp. 252-252, février 1960.

- 266- A.B. Crawford, D.C. Hogg, W.H. Kummer, "Studies in tropospheric propagation beyond the horizon", Bell Syst. Tech. J., vol. 38, n° 5, pp. 1067-1178, septembre 1959.
- 267- L.P. Rice, "Radio transmission into buildings at 35 and 150 Mc", Bell Syst. Tech. J., vol. 38, n° 1, pp. 197-210, janvier 1959.
- 268- K.A. Norton, "System loss in radio wave propagation", Proc. IRE, vol. 47, n° 10, pp. 1661-1662, octobre 1958.
- 269- J.J. Egli, "Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain", Proc. IRE, vol. 45, n° 10, pp. 1383-1391, octobre 1957.
- 270- K. Bullington, "Radio propagation fundamentals", Bell Syst. Tech. J., vol. 36, n° 3, pp. 593-626, mai 1957.
- 271- H.T. Friis, A.B. Crawford, D.C. Hogg, "Reflection theory for propagation beyond the horizon", Bell Syst. Tech. J., vol. 36, n° 3, pp. 627-644, mai 1957.
- 272- A.P. Barsis, "Some aspects of tropospheric radio wave propagation", IRE Trans. Broad., vol. PGBTS-6, pp. 1-11, octobre 1956.
- 273- R.S. Kirby, H.T. Dougherty, P.L. McQuate, "VHF propagation measurements in the Rocky mountain region", IRE Trans. Veh. Technol., vol. PGVG-6, pp. 13-20, juillet 1956.
- 274- R.S. Kirby, F.M. Capps, "Correlation in VHF propagation over irregular terrain", IRE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-4, n° 1, pp. 77-85, janvier 1956.
- 275- K.A. Norton, P.L. Rice, L.E. Vogler, "The use of angular distance in estimating transmission loss and fading range for propagation through a turbulent atmosphere over irregular terrain", Proc. IRE, vol. 43, n° 10, pp. 1488-1526, octobre 1955.
- 276- L. Katz, T.B. Friedman, "UHF satellite transmitter-receiver design and operation", IRE Trans. Broad., vol. PGBTS-1, n° 1, pp. 67-75, mars 1955.
- 277- K. Bullington, "Reflection coefficients of irregular terrain", Proc. IRE, vol. 42, n° 8, pp. 1258-1262, août 1954.
- 278- R.N. Ghose, W.G. Albright, "VHF field intensities in the diffraction zone", IRE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-2, n° 1, pp. 35-38, janvier 1954.

- 279- A.H. De Voogt, "The calculation of the path of a radio ray in a given ionosphere", Proc. IRE, vol. 41, n° 9, pp. 1183-1187, septembre 1953.
- 280- F.H. Dickson, J.J. Egli, J.W. Herbstreit, G.S. Wickizer, "Large reductions of VHF transmission loss and fading by the presence of the mountain obstacle in beyond line-of-sight paths", Proc. IRE, vol. 41, n° 8, pp. 967-969, août 1953.
- 281- N.M. Blachman, "A comparison of the informational capacities of amplitude and phase modulation communication systems", Proc. IRE, vol. 41, n° 6, pp. 748-759, juin 1953.
- 282- J. Epstein, D.W. Peterson, "An experimental study of wave propagation at 850 Mc", Proc. IRE, vol. 41, n° 5, pp. 595-611, mai 1953.
- 283- IRE Committee on Wave Propagation, "Tropospheric propagation: a selected guide to the literature", Proc. IRE, vol. 41, n° 5, pp. 588-595, mai 1953.
- 284- W.S. Ament, "Toward a theory of reflection by rough surface", Proc. IRE, vol. 41, n° 1, pp. 142-146, janvier 1953.
- 285- K.A. Norton, "Transmission loss in radio propagation", Proc. IRE, vol. 41, n° 1, pp. 146-152, janvier 1953.
- 286- H. Fine, "Variation of field intensity over irregular terrain within line of sight for the UHF band", IRE Trans. Antennas Propagat., vol. PGAP-4, pp. 53-65, décembre 1952.
- 287- W.R. Young Jr., "Comparison of mobile radio transmission at 150, 450, 900 and 3700 Mc", Bell Syst. Tech. J., vol. 31, n° 6, pp. 1068-1085, novembre 1952.
- 288- A.H. Lagrone, "Cross polarization of scattered radio waves", Proc. IRE, vol. 40, n° 9, pp. 1120-1124, septembre 1952.
- 289- R.S. Kirby, J.M. Taff, H.S. Moore, "Measurement of the effect of irregular terrain of VHF and UHF directive antenna patterns", IRE Trans. Antennas Propagat., PGAP-3, pp. 167-178, août 1952.
- 290- K.A. Norton, P.L. Rice, "Gapless coverage in air-to-ground communications at frequencies above 50 Mc", Proc. IRE, vol. 40, n° 4, pp. 470-475, avril 1952.

- 291- C.M. Crain, J.R. Gerhardt, "Measurement of the parameters involved in the theory of radio scattering in the troposphere", Proc. IRE, vol. 40, n° 1, pp. 50-54, janvier 1952.
- 292- J.M. Kelso, "Radio wave propagation at oblique incident including the Lorentz polarization term", Proc. IRE, vol. 40, n° 1, pp. 87-98, janvier 1952.
- 293- R.P. Decker, "Notes on the analysis of radio propagation data", Proc. IRE, vol. 39, n° 11, pp. 1382-1389, novembre 1951.
- 294- A.W. Stratton, D.F. Metcalf, C.W. Tolbert, "A study of tropospheric scattering of radio waves", Proc. IRE, vol. 39, n° 6, pp. 643-648, juin 1951.
- 295- N.L. Harvey, M. Leifer, N. Marchand, "The component theory of calculating radio spectra with special reference of frequency modulation", Proc. IRE, vol. 39, n° 6, pp. 648-653, juin 1951.
- 296- A.J. Aikens, "A test of 450 MHz urban area transmission to a mobile receiver", Proc. IRE, vol. 38, n° 11, pp. 1317-1319, novembre 1950.
- 297- K. Bullington, "Propagation of UHF and SHF waves beyond the horizon", Proc. IRE, vol. 38, n° 10, pp. 1221-1222, octobre 1950.
- 298- J.T. de Bettencourt, H. Klemperer, "The Beacon technique as applied to oblique incidence ionosphere propagation", Proc. IRE, vol. 38, n° 7, pp. 791-793, juillet 1950.
- 299- T. Kaham, G. Eckart, "On the existence of a surface wave in dipôle radiation over a plane earth", Proc. IRE, vol. 38, n° 7, pp. 807-813, juillet 1950.
- 300- J.Z. Millar, L.A. Byam, "A microwave propagation test", Proc. IRE, vol. 38, n° 6, pp. 619-626, juin 1950.
- 301- F.M. Greene, "The influence of the ground on the calibration and use of VHF field intensity meters", Proc. IRE, vol. 38, n° 6, pp. 650-651, juin 1950.
- 302- J.M. Kelso, "Radio-wave propagation in a curved ionosphere", Proc. IRE, vol. 38, n° 5, pp. 533-539, mai 1950.
- 303- H.G. Booker, W.E. Gordon, "A theory of radio scattering in the troposphere", Proc. IRE, vol. 38, n° 4, pp. 401-413, avril 1950.

- 304- W.R. Young, L.Y. Lacy", "Echoes in transmission at 450 MHz from land-to-car radio units", Proc. IRE, vol. 38, n° 3, pp. 255-258, mars 1950.
- 305- J.P. Day, L.G. Trolese, "Propagation of short radio waves over desert terrain", Proc. IRE, vol. 38, n° 2, pp. 165-176, février 1950.
- 306- K. Bullington, "Radio propagation variations at VHF and UHF", Proc. IRE, vol. 38, n° 1, pp. 27-32, janvier 1950.

