

SECTION 5D: ASPECTS RELATIFS A LA RADIODIFFUSION DE TERRE
ET AUX SERVICES MOBILES DE TERRE

RAPPORT 239-7*

RÉSULTATS STATISTIQUES RELATIFS A LA PROPAGATION POUR
LE SERVICE DE RADIODIFFUSION DANS LA GAMME
DES FRÉQUENCES COMPRISES ENTRE 30 ET 1000 MHz

(Question 11/5)

(1959-1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990)

1. Introduction

Le présent Rapport donne des indications sur la construction et l'usage des courbes de propagation de la Recommandation 370; il comprend des résultats statistiques descriptifs relatifs aux phénomènes de dépolarisation. On y examine aussi l'influence des zones urbaines et de la végétation sur la propagation. Au § 5, on propose des méthodes de calcul du champ au-dessus de trajets mixtes.

Dans les Actes finals de la Conférence de radiodiffusion télévisuelle en ondes métriques et décimétriques dans la zone africaine de radiodiffusion et pays voisins (Genève, 1989), on trouve des courbes de propagation pour la radiodiffusion dans cette zone et ces pays. Ces courbes ont été tracées compte tenu des différences climatiques prévues sur le continent africain.

L'acquisition de résultats de mesures de champ et le développement de méthodes de prévision, qui sont indispensables à la planification du spectre, se poursuivent dans de nombreux pays. Le résultat de ces activités vient en complément de l'information donnée dans la Recommandation 370 et invite à mettre l'accent sur l'importance d'une coordination qui aboutisse le plus tôt possible à une amélioration des techniques de prévision et à une amélioration des textes qui les décrivent. Le présent Rapport indique les régions où de tels développements sont en cours.

Le Rapport 1145 ————— étudie l'influence du terrain sur la propagation, ainsi que la base théorique de quelques-uns des paramètres qui interviennent dans le tracé des courbes de champ en fonction de la fréquence, de la distance, de la hauteur des antennes et de la nature du terrain. Le Rapport 228 étudie les mesures de champ pour le service de radiodiffusion; il en fait une analyse descriptive et montre comment on peut employer les courbes de propagation pour décrire des zones de service réelles. Pour la prévision de l'affaiblissement de transmission point à point (médianes à long terme et variabilité dans le temps), on emploie habituellement d'autres méthodes de prévision. (par exemple, [NBS, 1967]).

2. Construction des courbes de propagation

Chacune des courbes de propagation de la Recommandation 370 se compose de deux portions, l'une relative aux distances inférieures; l'autre aux distances supérieures à celle de l'horizon. Les modes de construction de ces deux portions sont différents. Les courbes rendent compte d'une grande masse de données, fournies par de nombreuses administrations.

2.1 Distances supérieures à celle de l'horizon

Les données à long terme relatives à ces distances ont été réparties entre ondes métriques et ondes décimétriques et, à l'échelon en dessous, entre trajets terrestres et trajets maritimes.

* Ce Rapport est porté à l'attention des Commissions d'études 10 et 11.

2.1.1 Ondes métriques

Dans les Fig. 1a à 4c de la Recommandation 370, les portions de courbe correspondant aux distances supérieures à celle de l'horizon résultent d'une très grande quantité de données, relevées sur de nombreux trajets terrestres et maritimes, au moyen d'antennes d'émission et de réception de diverses hauteurs. Dans un premier temps, on a rapporté ces données à une hauteur d'antenne d'émission de 300 m, en supposant que le champ créé à une distance X (km) de l'émetteur, pour une hauteur d'antenne h_1 (m), est égal au champ lu sur la courbe pour une hauteur d'antenne d'émission de 300 m à une distance $(X + 70 - 4,1 \sqrt{h_1})$ (km). On a ensuite appliqué la même formule pour dessiner la famille de courbes de la Recommandation 370.

Cette procédure est fondée sur l'hypothèse que le champ est constant si la distance entre les horizons est constante, sans tenir compte des différences d'affaiblissement en espace libre et en admettant un modèle de terre sphérique lisse.

De façon générale, pour les trajets maritimes, les mesures ont été faites en des points du littoral dégagés d'où la vue s'étend directement sur la mer. Pour pouvoir en appliquer les résultats au calcul du brouillage subi dans un même canal dans des villes côtières - où le champ risque d'être moins intense qu'en des points dégagés - on les a corrigés de 7 dB environ par rapport aux valeurs mesurées. Il convient de noter que ces corrections sont à apporter à toutes les mesures faites en des points dégagés du littoral, dans la bande des ondes métriques.

La propagation des ondes métriques de fréquence inférieure à 90 MHz environ aux distances supérieures à 500 km peut se faire par réflexion sur la couche ionisée sporadiquement de la région E pendant de petits pourcentages du temps. Le Volume VI du CCIR, en particulier le Rapport 259 et la Recommandation 534, traite de ces effets ionosphériques.

2.1.2 Ondes décimétriques

La même méthode a été appliquée pour dessiner les portions de courbe correspondant à des distances supérieures à celle de l'horizon, dans les Fig. 9, 10, 11, 13, 14a et 14b de la Recommandation 370.

Toutefois, pour des trajets maritimes et de petits pourcentages du temps, le champ est relativement indépendant de la hauteur de l'antenne d'émission. C'est pourquoi les courbes des Fig. 16a et 16b, qui correspondent à 1% du temps, n'ont pas été corrigées pour la hauteur d'antenne aux distances supérieures à celle de l'horizon. Les courbes à 5%, obtenues par interpolation entre les courbes à 1% et 10%, sont donc affectées de la moitié environ de la correction portant sur le gain dû à la hauteur.

Dans la région méditerranéenne, les mesures du littoral ont été faites en des points dégagés d'où la vue s'étend directement sur la mer. Pour pouvoir en appliquer les résultats au calcul du brouillage subi dans un même canal dans des villes côtières - où le champ risque d'être moins intense qu'en des points dégagés - on les a corrigés de 7 dB environ par rapport aux valeurs mesurées.

Il convient de noter que ces corrections sont à apporter à toutes les mesures faites en des points dégagés du littoral, dans les bandes des ondes ———— décimétriques.

2.2 Distances inférieures à celle de l'horizon

Pour les distances inférieures à celle de l'horizon normal, on a tracé les courbes de propagation en comparant, d'une part, les données fournies sur des trajets courts par de nombreux essais effectués avec des équipements mobiles et par un certain nombre de mesures à long terme effectuées en des points fixes, d'autre part, les courbes théoriques de propagation sur une terre régulière, pour les valeurs correspondantes de la fréquence et de la hauteur des antennes. On a constaté que la variation du champ en fonction de la fréquence était relativement peu importante et on a classé les données en deux catégories (ondes métriques et ondes décimétriques) comme pour les distances supérieures à celle de l'horizon.

Les Fig. 1a et 1b de la Recommandation 370 représentent les champs dépassés pendant 50% du temps pour les ondes métriques. Les courbes relatives aux distances inférieures à celle de l'horizon normal ont été obtenues par comparaison avec les courbes théoriques pour une terre unie. Ces courbes ont ensuite été raccordées de façon régulière avec les courbes de la famille correspondante relatives aux distances supérieures à celle de l'horizon, comme il est décrit au paragraphe précédent. Les Fig. 1a et 1b de la Recommandation 370 contiennent donc des portions de courbe se rapportant à des distances inférieures à celle de l'horizon et à des distances supérieures, mais aussi des portions intermédiaires qui constituent un raccordement des deux premières.

Les Fig. 2a, 2b, 2c et 4a de la Recommandation 370 représentent les champs en ondes métriques qui sont dépassés respectivement pendant 10% et 1% du temps. Ces courbes ont été obtenues selon un procédé très semblable à celui utilisé pour les Fig. 1a et 1b. On a admis que les évanouissements sont négligeables pour les courtes distances, de sorte que les courbes médianes des Fig. 1a et 1b de la Recommandation 370 peuvent servir de guide pour ces courtes distances et se raccorder avec les courbes correspondantes à 10% et 1% des autres figures.

Les champs à courte distance indiqués aux Fig. 3b, 3c, 4b et 4c de la Recommandation 370, qui représentent les courbes pour la propagation dans la bande des ondes métriques sur des trajets maritimes avec dépassement pendant 5% et 1% du temps, ont été établis selon une hypothèse analogue, à savoir que les champs à 5% et 1% du temps pour la propagation terrestre ou maritime ne devraient pas être sensiblement différents à une distance de 10 km de l'émetteur. Les courbes maritimes ont donc été raccordées en douceur à cette distance avec les courbes terrestres.

Les courbes correspondant à 5% du temps pour la propagation sur les trajets terrestres (Fig. 3a de la Recommandation 370) ont été calculées par interpolation linéaire entre les courbes pour 1% et 10% du temps, en supposant une distribution normale, on a alors:

$$E(5\%) = 0,653 E(10\%) + 0,347 E(1\%) \quad \text{dB}$$

De la même façon, on a tracé une famille de courbes du champ en fonction de la distance pour les ondes décimétriques. Ces courbes sont représentées aux Fig. 9, 10 et 11 de la Recommandation 370 pour des trajets terrestres et aux Fig. 13, 14a, 14b, 15a, 15b, 16a et 16b pour des trajets maritimes.

3. Autres données de mesure

3.1 Régions de la mer du Nord et de la mer Baltique

Des mesures faites dans les bandes IV et V sur des distances inférieures à 200 km dans la région de la mer du Nord montrent que, pendant 50% et 10% du temps, le champ peut dépasser de plusieurs décibels les valeurs déterminées d'après la Recommandation 370, mais la concordance est meilleure pour les dépassements de 1% du temps.

Des mesures faites par l'OIRT sur une période de trois ans [Kühn et autres, 1969] confirment que les valeurs indiquées dans la Recommandation 370 pour la région de la mer du Nord sont applicables aussi à la région de la mer Baltique. On a toutefois observé que, durant de petits pourcentages de temps, les valeurs mesurées du champ ont tendance à être légèrement plus élevées que les valeurs prévues.

Des mesures de champ faites en Suède pendant des périodes allant de 7 mois à 4 ans, en ondes métriques sur trois trajets et en ondes décimétriques sur trois trajets, dans la région de la mer Baltique ont donné, pour les trajets en ondes métriques, des résultats qui concordent avec les valeurs indiquées dans la Recommandation 370 pour la région de la mer du Nord. On constate cependant que la variation du champ est importante d'un mois à l'autre; pour le mois le plus défavorable, les champs mesurés qui sont dépassés pendant 1% et 10% du mois sont supérieurs de 30 à 40 dB aux niveaux estimés correspondants.

3.2 Région de la mer Méditerranée et de la mer Noire

Il convient de noter que dans la région de la Méditerranée, en particulier, le champ est considérablement plus intense durant les mois d'été [Fedi et autres, 1973] que durant les mois d'hiver. On a effectué en Italie [CCIR, 1974-78] des mesures du champ en ondes métriques et décimétriques, sur deux trajets différents traversant la partie centrale de la mer Méditerranée. Ces mesures, qui se sont étendues sur une période de deux ans, mettaient en jeu plusieurs hauteurs de l'antenne de réception. On a comparé les résultats obtenus avec les calculs pour 1%, 5% et 10% du temps, en utilisant les figures de la Recommandation 370 et en appliquant la formule du § 2.1.1 ci-dessus pour tenir compte de la hauteur de l'antenne d'émission, et une formule similaire, pour la hauteur de l'antenne de réception. On a constaté ainsi qu'il y a une bonne concordance, en ondes décimétriques, entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées; par contre, en ondes métriques, les valeurs mesurées dépassent de 3 à 14 dB les valeurs calculées.

En outre, des mesures qui ont été effectuées en Italie [CCIR, 1978-82a] sur 29 trajets rasants ou transhorizon (quatre trajets entièrement terrestres, neuf trajets essentiellement maritimes et seize trajets mixtes) entre 1968 et 1977 ont donné des résultats valables qu'il est possible d'utiliser pour d'autres études concernant la propagation.

Des mesures en ondes métriques et décimétriques effectuées dans la région de la mer Noire entre l'URSS et la Bulgarie [Troitsky et autres, 1989] sur un trajet de 970 km ont donné des valeurs de champ pendant 1% du temps qui étaient supérieures de 10 dB environ pour les ondes métriques et décimétriques à celles calculées en utilisant la Recommandation 370. Pour 10% du temps, les valeurs mesurées coïncidaient avec les calculs utilisant la Recommandation 370 pour les ondes décimétriques et étaient supérieures de 7 dB pour les ondes métriques.

Les mesures en ondes métriques dans la région de la mer Noire sur des trajets de 309 et 402 km ont également donné des valeurs de champ qui étaient supérieures de 6 à 13 dB à celles calculées en utilisant la Recommandation 370 pour 1% et 10% du temps [CCIR, 1986-1990c].

Pour ces comparaisons dans la région de la mer Noire, les courbes correspondant à la "Mer chaude" de la Recommandation 370 ont été utilisées, auxquelles on a ajouté 7 dB pour correspondre aux emplacements de réception déagés. Les niveaux élevés constatés aux ondes métriques et décimétriques peuvent s'expliquer par l'apparition d'un phénomène de conduit troposphérique.

3.3 Europe centrale

Une importante conclusion à tirer des mesures faites par l'OIRT pendant une période de trois ans sur cinq trajets à 1100 MHz situés en Europe centrale est que la variation du champ est, pour plusieurs trajets, nettement supérieure à celle indiquée par la Recommandation 370. Ces trajets étaient, par leur nature, particulièrement sensibles aux effets superposés de plusieurs mécanismes de propagation. Par exemple, on a observé que, sur des trajets de quelque 200 km de longueur, la gamme des évanouissements (la différence entre les champs dépassés pendant 1% et 50% du temps) est de l'ordre de 30 dB, à comparer avec la différence d'environ 18 dB que laisseraient prévoir les courbes de la Recommandation 370, si on les retraçait pour une fréquence médiane d'environ 700 MHz (milieu des bandes IV et V).

Des mesures supplémentaires ont été faites en République démocratique allemande, en coopération avec les Administrations de la République socialiste tchécoslovaque et la République populaire de Pologne [CCIR, 1978-82b] pendant plusieurs années; ces mesures qui ont été réalisées à 1100 MHz sur neuf trajets transhorizon dans des conditions typiques pour l'Europe centrale, et sur des distances allant jusqu'à 400 km, ont montré que la gamme des évanouissements est comprise entre 19 dB et 32,5 dB. Ces valeurs sont de presque 15 dB supérieures à celles que laisserait prévoir la Recommandation 370 et ont été observées sur des distances allant jusqu'à 250 km. Cette différence diminue avec la distance, mais elle est encore de 3 dB à 400 km. En outre, on a observé une différence de 9 dB entre la gamme des évanouissements mesurée et la gamme des évanouissements prévue, à 500 MHz, sur des trajets d'environ 200 km.

3.4 Amérique du Nord

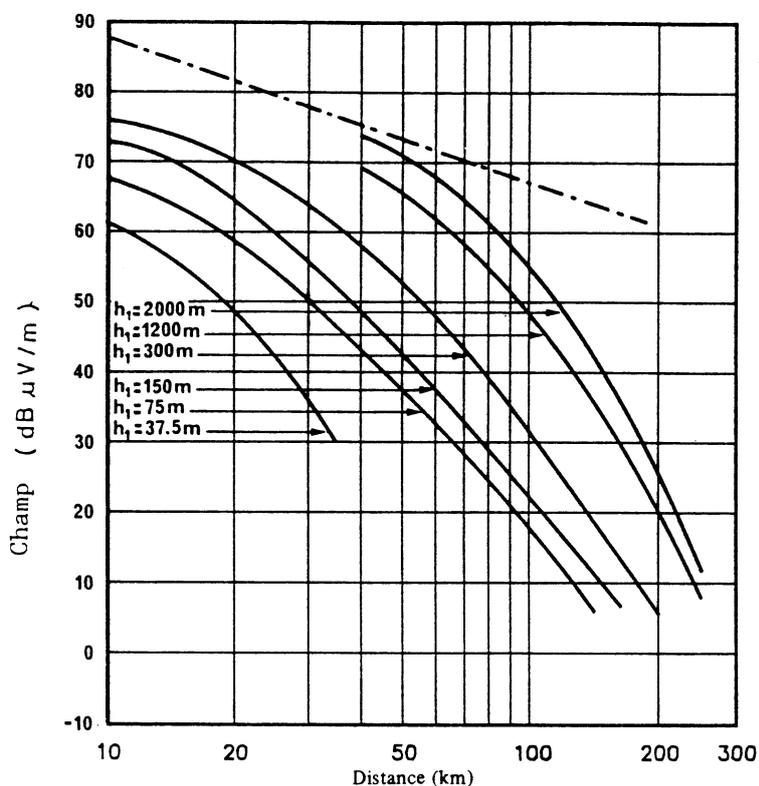
Le Canada a effectué des mesures sur les valeurs de l'intensité des signaux, en ondes métriques ou décimétriques, qui sont dépassées pendant 50% et 10% du temps, sur des trajets sans visibilité directe d'une longueur de 125 à 250 km situés dans la région des Grands Lacs sur le continent nord-américain. Les résultats de ces mesures font apparaître des variations diurnes et saisonnières considérables de l'intensité des signaux [Palmer, 1980]. Les intensités qui sont dépassées pendant 50% ou 10% du temps sont minimales l'après-midi et en hiver, et maximales la nuit et en été. La variation diurne du champ médian est de 5 à 9 dB en été et de 2 à 3 dB en hiver. La variation saisonnière est comprise entre 6 et 15 dB, les valeurs supérieures s'observant sur les trajets comportant un fort pourcentage d'étendues d'eau. Les valeurs du champ dépassées pendant 10% du temps présentent des variations diurnes de 2 à 6 dB en hiver, et de 10 à 26 dB en été. La variation saisonnière est de 2 à 6 dB à midi et de 15 à 25 dB la nuit. Comme pour le champ médian, la variabilité diurne et la variabilité saisonnière sont plus importantes sur les trajets comportant un fort pourcentage d'étendues d'eau. Des résultats semblables ont été obtenus à la suite d'une nouvelle expérience menée au Canada, expérience dans laquelle, pendant deux ans, on a contrôlé, en un point situé près de Yarmouth (Nouvelle Ecosse), sur la côte est du Canada, l'intensité des signaux provenant de cinq émetteurs de télévision. Les longueurs de trajet étaient comprises entre 92 et 384 km et les fréquences entre 67 et 543 MHz [Whitaker, 1985].

Des mesures effectuées aux Etats-Unis d'Amérique dans la même région ont fait apparaître des variations diurnes et saisonnières du champ légèrement plus grandes [Kalagian et Tawil, 1983]. La variation diurne de la médiane du champ est de 5 à 11 dB en été et de 1 à 9 dB en hiver. La variation saisonnière va de 7 à 22 dB. La valeur du champ dépassée pendant 10% du temps présente une variation diurne de 11 à 19 dB en été et de 4 à 10 dB en hiver. La variation saisonnière est de 11 à 31 dB. Les variations du champ étaient légèrement plus faibles en ondes métriques.

Selon des mesures faites dans le Golfe du Mexique, les valeurs du champ peuvent, notamment en été, dépasser les indications données par les courbes de la Recommandation 370 pour la mer du Nord, le dépassement pouvant atteindre 20 dB sur des distances de plus de 200 km environ.

3.5 Asie

Des mesures du champ ont été effectuées dans des régions à latitude basse de l'Asie, par sept organisations membres de l'URA, au Bangladesh, à Hong Kong, en Inde, en Malaisie, au Pakistan, en Arabie saoudite et en Thaïlande. On a utilisé des émissions en ondes métriques à différentes saisons et heures de la journée. On trouvera des résultats provisoires pour un terrain plat sur la Fig. 1 [CCIR, 1986-90a]. Ces courbes correspondent généralement assez bien avec les courbes de la Fig. 1a de la Recommandation 370. Toutefois, pour des distances inférieures à une trentaine de kilomètres, les courbes de l'URA sont inférieures d'une valeur pouvant atteindre 5 dB, surtout pour de petites hauteurs équivalentes d'antennes d'émission. Il convient de noter que, si une correction est appliquée pour le coindice de réfraction au sol (§1.7 de la Recommandation 370), les valeurs prévues sont trop élevées dans la région de diffraction. Des mesures faites sur des terrains vallonnés montagneux ou désertiques donnent aussi, en général, des valeurs plus petites que celles escomptées d'après la Recommandation 370.



----- Espace libre

FIGURE 1 - Champ en dB(μV/m) pour une p.a.r. de 1 kW

Fréquence: 60 à 250 MHz (bandes I, II et III); Zones tropicales - Terrain plat
pour 50% du temps et 50% des emplacements; $h_2 = 10$ m
 $\Delta h = 20$ à 50 m

(voir aussi la Fig. 1a de la Recommandation 370)

Des mesures effectuées en Inde [CCIR, 1978-82d] montrent que la différence entre les valeurs du champ dépassées pendant 10% et 90% du temps, sur des signaux de télévision dans la bande III des ondes métriques, transmis sur un trajet transhorizon de 216 km, est de 4,2 dB pour l'ensemble de l'année et de 3,5 dB en été et 5,5 dB en hiver, les changements saisonniers étant donc peu importants.

De plus, des propagations anormales des signaux de télévision dans la bande I des ondes métriques, dues, semble-t-il, à un phénomène de superréfraction, ont été observées en Inde pendant les mois précédant la mousson [CCIR, 1978-82e], ce qui montre que ces signaux pourraient se propager pendant une longue période de temps sur des distances de l'ordre de 1000 km.

Des mesures de champ ont été entreprises au Japon [Akeyama et Nishio, 1985] sur un bateau le long d'un trajet maritime s'étendant de 20 à 100 km aux fréquences 252 et 920 MHz. Bien que ces résultats ne puissent être directement comparés aux courbes de la Recommandation 370, étant donné le caractère instantané des mesures, l'affaiblissement de propagation dû à la diffraction par la Terre donne des résultats de mesure conformes aux valeurs calculées selon le Rapport 715.

3.6 Régions sujettes à des phénomènes de superréfraction prononcée

Des campagnes de mesures ont été entreprises par Gulfvision [CCIR, 1982-86a], la République islamique d'Iran et l'Etat d'Israël [CCIR, 1982-86b] pour étudier la propagation des ondes métriques et décimétriques dans les conditions climatiques de superréfraction. Les mesures faites dans la région comprise entre le Chatt al-Arab et le Golfe d'Oman [Murray, 1972; Gouch, 1958] ont également été décrites dans [CCIR, 1982-86c]. Les premiers résultats obtenus, d'une part, dans la région comprise entre le Chatt al-Arab et le Golfe d'Oman, d'autre part, dans la Méditerranée à l'est du 30° méridien est, montrent que les courbes 50% des emplacements, 10% du temps et surtout 1% du temps au-dessus de la mer sont très différentes de celles données dans la Recommandation 370 pour des mers chaudes. Pour les parcours maritimes allant jusqu'à 500 km et aux fréquences voisines de 100 MHz, les courbes 1% du temps sont très voisines de la courbe de propagation en espace libre.

Les champs mesurés au cours de périodes de propagation par conduits aux fréquences supérieures à 150 MHz concordent généralement avec les valeurs prévues au moyen de la formule (3) du Rapport 569 quand on utilise des valeurs appropriées pour les paramètres A_c et γ , bien que ce Rapport soit avant tout destiné aux fréquences supérieures à 500 MHz.

Pour des trajets terrestres éloignés des régions côtières, on manque encore de données en nombre suffisant et des campagnes de mesures (que l'on projette) en Afrique pourraient apporter prochainement des informations utiles.

En ce qui concerne les courbes 50% des emplacements, 50% du temps, les différences avec les courbes de la Recommandation 370 sont seulement faibles, surtout pour les distances courtes, et les résultats sont en nombre encore insuffisant pour préciser ces différences; comme ces courbes sont principalement utilisées pour la détermination de la zone de couverture, donc pour des distances courtes, on ne risque pas de commettre de grandes erreurs en utilisant les courbes de la Recommandation 370, même pour les régions sujettes aux phénomènes de superréfraction.

En attendant une analyse plus complète et une évaluation des données expérimentales fournies par des campagnes de mesure de propagation, on peut déterminer les régions où les conditions de superréfraction sont très probablement fréquentes en comparant les conditions climatiques avec celles des régions qui ont donné lieu à des mesures de propagation.

On peut sans doute ranger parmi ces régions les suivantes:

- la côte occidentale de l'Afrique entre l'Equateur et le Tropique du Cancer,
- le détroit de Gibraltar,
- la mer Rouge,
- les zones maritimes d'Amérique centrale, du Golfe du Mexique et de Californie,
- la mer d'Oman,
- le Golfe du Bengale.

La nécessité de clarifier cet aspect de la propagation est soulignée par les rapports issus de l'ample programme de recherches mené par Gulfvision [CCIR, 1982-86d] qui posent de nouvelles interrogations concernant l'estimation de la couverture et des brouillages. Par exemple, contrairement aux conclusions précédentes, il semblerait que, dans ces régions, l'utilisation des courbes 50% du temps pourrait être inadéquate à cause des différences importantes entre les niveaux à 50% et 99% du temps pour de relativement longues distances. Eu égard aux calculs de brouillages, et aux nombreux rapports sur les réceptions à grande distance à 100 MHz mentionnés ci-dessus (voir aussi [CCIR, 1982-86e]), les mesures de Gulfvision révèlent des champs à longue distance dans les bandes III, IV et V plus élevés qu'en espace libre sur des parcours maritimes et pour de faibles pourcentages de temps. Pour estimer l'importance de cette propagation, on a proposé des méthodes qui demandent une information quant à la topographie et à la radiométéorologie des régions concernées. Elles impliquent aussi une définition des limites des zones côtières pour les trajets qui traversent ces régions. Ceci demande aussi que l'on précise, en relation avec l'effet de conduit, le facteur d'affaiblissement γ (dB/km) qui se révèle être fonction de la distance perpendiculaire à la côte. La limite de la zone est déterminée en égalant la valeur de γ résultant de l'effet de conduit à la variable correspondant à l'effet de diffraction.

Les travaux rapportés ci-dessus et la relation avec les résultats obtenus en utilisant les techniques décrites dans la Recommandation 370 demandent une étude urgente. En attendant que ce travail soit achevé, des courbes de propagation, répondant aux besoins de la planification dans les régions sujettes à des phénomènes intenses de superréfraction, ont été proposées [CCIR, 1982-86f].

3.7 *Autres régions*

Il ressort de certaines observations que, dans des conditions particulières et pour des pourcentages du temps petits mais non négligeables, on peut recevoir des signaux perceptibles d'émetteurs puissants situés à des distances dépassant 4000 km dans des régions tropicales. Par exemple, un émetteur fonctionnant à une puissance apparente rayonnée de 1 kW sur une fréquence de 417 MHz a créé à une distance de 4740 km (à travers l'océan Atlantique) un champ de 0,15 $\mu\text{V}/\text{m}$ mesuré pendant approximativement 2% de l'année [Misme, 1966].

Les données recueillies par des radioamateurs européens ont été examinées par Flavell [1985]. Ces données révèlent que des distances maximales de 2500 km et 1890 km, dues à des conditions de propagation troposphérique anormales, ont été signalées respectivement à 144 MHz et 432 MHz.

4. **Influence des irrégularités du terrain**

Lorsque des emplacements de réception de radiodiffusion sont pris au hasard, sur des routes ou à leur voisinage et dans des vallées, les médianes de l'affaiblissement de transmission sont plus élevées que si l'on choisit très soigneusement ces emplacements. Tout d'abord, l'irrégularité du terrain à petite échelle augmente le champ prévu (ou le champ médian) en supprimant l'effet destructif d'une opposition de phase entre les ondes radioélectriques qui se propagent directement et celles qui sont réfléchies ou diffractées par le sol. Lorsque le terrain devient plus irrégulier et encombré d'obstacles, les signaux s'affaiblissent par effet d'écran, par absorption (y compris l'effet de la végétation) et par diffusion et divergence (défocalisation) des ondes diffractées. La convergence (focalisation) et la réflexion spéculaire jouent aussi un rôle dans ces phénomènes de propagation par trajets multiples, ainsi que le font la valeur moyenne, la turbulence et la stratification de l'indice de réfraction de l'atmosphère.

Deux phénomènes jouent un rôle prépondérant dans la formation des ondes stationnaires complexes qui déterminent le gain dû à la hauteur d'antenne à une distance fixe d'un émetteur. En présence de réflexion ou de diffraction sur une surface suffisamment unie et suffisamment étendue, il faut s'attendre à un gain proportionnel à la hauteur d'antenne si cette hauteur reste petite, tandis que, si l'on élève une antenne de réception au-dessus des irrégularités et des accidents du terrain, il faut s'attendre à un gain de hauteur résultant des causes tout à fait différentes exposées à l'alinéa précédent.

Les phénomènes de dépolarisation sont examinés dans le Rapport 722 et certaines mesures récentes sont exposées ci-dessous. Dans ce cas encore, le choix des emplacements est d'importance primordiale, soit pour éliminer les signaux brouilleurs, par exemple, ou pour tirer parti de la dépolarisation par une réception en diversité: la discrimination par polarisation est meilleure en rase campagne et pour des signaux intenses que si le champ est faible, comme c'est le cas, par exemple, pour les transmissions en ondes décimétriques lorsqu'une antenne de réception est entourée d'obstacles.

La nature de l'emplacement de réception exerce encore d'autres effets importants sur les phénomènes de polarisation des ondes. Par exemple, des observations effectuées en République fédérale d'Allemagne en ondes métriques ont montré qu'aux emplacements masqués, les réflexions ont peu d'effet sur les signaux à polarisation horizontale, tandis que sur les signaux à polarisation verticale elles agissent souvent assez pour dégrader beaucoup la qualité de la réception en modulation de fréquence. Des mesures comparatives en polarisations verticale et horizontale des émissions de télévision en ondes métriques dans un terrain vallonné et boisé en Norvège ont montré qu'il peut y avoir des différences considérables dans les effets des trajets multiples (et par conséquent en matière de qualité de l'image) entre les polarisations. Bien que pour la polarisation verticale, le champ soit normalement plus élevé, les effets des trajets multiples étaient moins prononcés pour la polarisation horizontale dans la plupart des points de mesure. [Danielsen et Stokke, 1987]. Le § 5 du Rapport 567 contient des observations relatives à l'effet de la polarisation sur les variations locales du champ.



Il est intéressant maintenant d'examiner quelques aspects des problèmes que posent l'irrégularité du terrain, la végétation, etc., en considérant plus spécialement l'utilisation de courbes de propagation dans les bandes des ondes métriques et décimétriques.

4.1 Le paramètre Δh

Le paramètre Δh sert à caractériser le degré d'irrégularité du terrain. Il est utilisé par les services de radiodiffusion entre 10 et 50 km de distance de l'émetteur (voir la Recommandation 310 et la Fig. 6 de la Recommandation 370). Des méthodes pour calculer Δh par ordinateur sont données par Thélot [1981]. Toutes les courbes de propagation sur trajets terrestres se rapportent à un type de terrain moyennement vallonné, que l'on rencontre fréquemment en Europe et en Amérique du Nord et qui est caractérisé par $\Delta h = 50$ m. L'influence des irrégularités du terrain est d'autant plus forte que la fréquence est plus élevée, donc elle l'est plus pour les ondes décimétriques (bandes IV et V) que pour les ondes métriques (bandes I, II et III). C'est pourquoi, dans certains cas, on utilise le paramètre $\Delta h/\lambda$ (voir, par exemple, le § 4.3).

Si l'on imagine une expérience théorique dans laquelle on enregistrerait le champ à long terme en un grand nombre d'emplacements, la distribution des médianes dans le temps pour chacun de ces points se ramènerait alors à celle indiquée à la Fig. 5 de la Recommandation 370 pour la propagation des ondes métriques sur un terrain vallonné typique caractérisé par $\Delta h = 50$ m.

On admet aussi que l'intervalle de variation de cette distribution en fonction du pourcentage des emplacements de réception – c'est-à-dire la pente de la courbe de distribution – est, en première approximation, indépendant du degré d'irrégularité du terrain en ondes métriques; cela étant, on peut considérer que la distribution représentée à la Fig. 5 de la Recommandation 370 est applicable à la plupart des valeurs usuelles de Δh .

La Fig. 12 de la Recommandation 370 indique des distributions typiques d'emplacements pour plusieurs valeurs de Δh en ondes décimétriques; dans ce cas, l'intervalle de variation de la distribution ne peut pas être considéré comme indépendant de Δh .

En plus de l'augmentation de l'intervalle de variation en fonction du degré d'irrégularité du terrain, il faut signaler aussi que les champs moyens reçus sont d'autant plus faibles que le terrain est plus irrégulier, c'est-à-dire que Δh est plus grand. Ici encore, cet effet est d'autant plus marqué que la fréquence est plus élevée. Des mesures effectuées récemment en République socialiste tchécoslovaque et au Royaume-Uni ont confirmé que les corrections indiquées dans les Fig. 7 et 8 de la Recommandation 370 s'appliquent à des distances pouvant atteindre 100 km, dans les bandes III, IV et V [UER, 1965]. Des mesures faites par l'OIRT [Kühn, 1968] indiquent qu'il faut utiliser le même facteur de correction pour la bande II que pour la bande III. De très nombreuses mesures exécutées en URSS dans des zones de banlieue et rurales, dont les valeurs de Δh allaient de 70 à 400 m, montrent que des facteurs de correction plus élevés seraient appropriés pour Δh . Ces mesures, faites dans les bandes I, II, III et IV ont aussi fourni d'autres informations concernant les effets de la fréquence et devraient faciliter la préparation d'un exposé plus clair au sujet du paramètre Δh [CCIR, 1982-86g].

Dans ce qui précède, il est entendu que le facteur de correction de l'affaiblissement qui est donné dans les Fig. 7 et 8 de la Recommandation 370 doit être retranché du champ pour la valeur requise de Δh .

Des études récentes ont montré que le paramètre Δh ne suffit pas à lui seul pour déterminer de façon précise le facteur de correction de l'affaiblissement. On a constaté par exemple que, en un point quelconque situé sur un trajet de transmission approximativement caractérisé par $\Delta h \approx 50$ m, l'estimation du champ médian peut être entachée d'une erreur supérieure à 20 dB. En général, cependant, cette erreur ne dépasse pas 10 dB; elle a tendance à être plus petite dans la bande des ondes métriques que dans celle des ondes décimétriques. Pour des valeurs de Δh différentes de 50 m, ces erreurs peuvent être encore plus graves. La correction peut être inappropriée pour des trajets nettement plus longs que 50 km, particulièrement si le type de terrain se modifie. Pour des calculs de brouillage à longue distance, cette correction doit donc être appliquée avec prudence afin de ne pas sous-estimer les signaux brouilleurs.

Les corrections de Δh peuvent conduire à des erreurs dans les situations suivantes:

- trajets de propagation s'écartant sensiblement de l'horizontale;
- trajets de propagation contenant une vallée profonde;
- trajets de propagation contenant un accident de terrain prépondérant, par exemple, une montagne ou une arête saillante;
- irrégularités importantes en dehors de l'intervalle 10-50 km (utilisé dans la définition actuelle de Δh), surtout à proximité immédiate de l'émetteur ou du récepteur.

Ces cas peuvent être résumés comme des situations dans lesquelles les caractéristiques topographiques subissent des changements importants le long du trajet de propagation, ce qui entraîne des valeurs élevées de Δh , par exemple 500 m. Des recommandations restreignant l'utilisation de Δh peuvent donc s'exprimer en termes de limite supérieure imposée à la valeur de Δh , au-dessus de laquelle l'application peut n'être pas valable. Une limite supérieure de 150 m est jugée représenter une valeur maximale réaliste de Δh , pour une zone ayant essentiellement des caractéristiques topographiques uniformes.

On s'est efforcé d'améliorer la précision en introduisant empiriquement de nouveaux facteurs de terrain. On trouvera ci-dessous la liste de ces méthodes, qui peuvent être appliquées dans les cas où l'on a besoin d'estimations plus précises que celle réalisable avec le seul paramètre Δh .

4.1.1 Méthode mise au point en République fédérale d'Allemagne, dans laquelle la détermination du paramètre dépend dans une large mesure non seulement de la moyenne quadratique de Δh , mais également de la pente moyenne du terrain.

4.1.2 Méthode mise au point en République populaire de Pologne, selon une variante de la méthode TASO [LaGrone, 1960]; dans cette méthode, la valeur du paramètre dépend de Δh et de la longueur d'onde moyenne des ondulations du terrain.

4.1.3 Méthode mise au point au Royaume-Uni [UER, 1965], dans laquelle on utilise des paramètres qui dépendent de Δh et de la pente moyenne du terrain. Une méthode analogue a également été mise au point au Japon pour déterminer les champs [Okumura et autres, 1968].

4.1.4 Les méthodes d'évaluation susmentionnées sont toutes fondées soit sur les corrections du champ calculé pour la propagation au-dessus d'une terre sphérique uniforme, soit sur l'hypothèse selon laquelle il existe des obstacles bien définis provoquant des diffractions sur le trajet de transmission. Toutefois, dans une autre méthode récemment mise au point au Japon [Okumura et autres, 1968], le champ en espace libre est pris comme norme initiale de référence pour la propagation au-dessus de n'importe quelle sorte de terrain.

4.2 *Correction de terrain à la réception*

Si l'on désire accroître la précision des prévisions du champ pour des conditions de réception déterminées, par exemple dans une petite zone de réception, on peut effectuer une correction qui est fonction d'un «angle de dégagement». Cet angle, θ , doit être représentatif des angles de la zone de réception, mesurés entre la droite horizontale à l'antenne réceptrice et la ligne qui surmonte tous les obstacles sur une distance de 16 km en direction de l'émetteur. L'exemple donné à la Fig. 2 montre que le signe est négatif par convention si la droite qui surmonte les obstacles se situe au-dessus de l'horizontale.

La Fig. 3 donne le facteur de correction en fonction de l'angle de dégagement; ces facteurs doivent être appliqués aux résultats obtenus pour 50% des emplacements par la Recommandation 370. L'utilisation de cette correction pour des emplacements de réception déterminés à l'intérieur d'une zone permettra une évaluation de la variation du champ dans la zone en question plus proche de la réalité que ce que permettent les corrections données aux Fig. 5 et 12 de la Recommandation 370.

Les corrections pour des angles de dégagement non compris entre -5° et $0,5^\circ$ ne sont pas données à la Fig. 3, car le nombre de trajets correspondants était trop faible dans l'étude effectuée. On peut toutefois essayer de les déterminer par une extrapolation linéaire entre les courbes de la Fig. 3 aux valeurs limites de 30 dB en B.m et 40 dB en B.dm à $1,5^\circ$ et de -40 dB en B.m et B.dm à -15° , à condition que les valeurs des champs en espace libre ne soient pas dépassées.

Les calculs effectués par l'UER sur plus de 200 trajets en République fédérale d'Allemagne, en Finlande, en France et au Royaume-Uni montrent que lorsqu'on applique la correction susmentionnée, on peut obtenir statistiquement une réduction d'environ 4 dB dans les différences entre la valeur obtenue expérimentalement et la valeur de référence obtenue par la méthode informatique décrite au § 6.1.

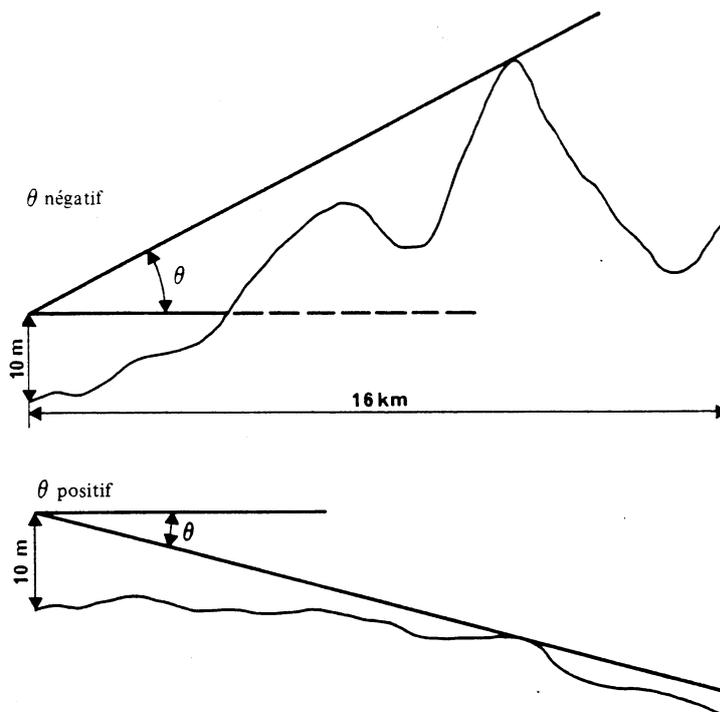


FIGURE 2 - Angle de dégagement

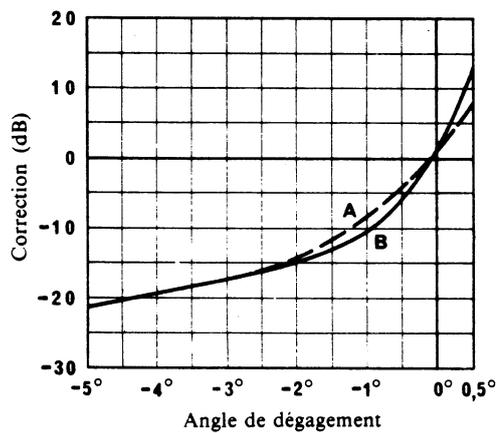


FIGURE 3 - Courbe de correction pour l'endroit de réception

Courbes A : ondes métriques (B.m)
 B : ondes décimétriques (B.dm)

Les résultats de mesures effectuées en Yougoslavie dans la bande des ondes métriques (modulation de fréquence) sur des trajets d'une longueur comprise entre 25 km et 70 km ont été comparés aux résultats calculés pour 50% du temps selon la méthode préconisée dans la Recommandation 370-5. Trois séries de calculs ont été effectuées, chacune étant fondée sur un paramètre de correction différent. Dans la première série, on a utilisé seulement le paramètre Δh d'irrégularité du terrain comme paramètre de correction; dans la deuxième série on a utilisé seulement l'angle de dégagement θ . Enfin, les corrections parallèle fondée sur ces deux paramètres a été utilisée dans la troisième série. Les résultats mesurés sur les 64 trajets confirment [S.B. Rašajski et Z.R. Petrović, 1987] [CCIR, 1986-1990c] que la meilleure concordance entre les résultats calculés et les résultats mesurés est constatée lorsqu'on applique à la fois l'angle de dégagement θ et le facteur Δh d'irrégularité du terrain; dans ce dernier cas, la valeur quadratique moyenne de la différence entre les résultats calculés et les résultats mesurés et l'écart type de la distribution de la différence sont alors de 12 dB environ.

4.3 Variabilité d'un trajet à un autre

Une étude récente de données relatives à des systèmes de radiodiffusion et des systèmes mobiles terrestres (de 20 MHz à 10 GHz), effectuée aux Etats-Unis d'Amérique [Longley, 1976], a montré la grande variabilité des résultats à laquelle on peut s'attendre en passant d'un trajet à un autre de même longueur. Cette variabilité s'accroît avec la fréquence radioélectrique et l'irrégularité du terrain; elle dépend en outre fortement de la présence de bâtiments et d'arbres au voisinage des extrémités des trajets. Toutefois, en rapportant à la longueur d'onde, λ , la caractéristique d'irrégularité du terrain, Δh , on peut calculer l'écart type σ_L de la variabilité d'un trajet à un autre, de longueur à peu près égale, au moyen de l'une des deux expressions suivantes, pour $(\Delta h/\lambda) < 3000$:

$$\sigma_L = 6 + 0,69 (\Delta h/\lambda)^{1/2} - 0,0063 (\Delta h/\lambda) \quad \text{dB} \quad (1)^*$$

ou, pour $(\Delta h/\lambda) \geq 3000$:

$$\sigma_L = 25 \text{ dB} \quad (2)$$

A l'exception des données relevées au-dessus de 300 MHz dans une zone montagneuse accidentée, 90% de tous les écarts types observés sont égaux, à 2 dB près, aux valeurs calculées au moyen des formules (1) et (2).

On a comparé les formules (1) et (2) en effectuant une série de mesures indépendantes à 172 et 410 MHz, sur 130 trajets (dans une zone forestière plate de Floride, dans une zone forestière vallonnée de Californie et dans la zone aride et bouleversée des montagnes de l'Arizona), les hauteurs d'antenne étant égales ou inférieures à 1 m. Les résultats des formules (1) et (2) étaient les mêmes, à 1,5 dB près, que les écarts types observés pour des valeurs de $\Delta h/\lambda$ comprises entre 15 et 175.

4.4 Influence d'une modification de la hauteur de l'antenne de réception

4.4.1 Variation du champ due à la hauteur

Les travaux faits par diverses administrations montrent la diminution du champ à laquelle on peut s'attendre lorsqu'on porte la hauteur de l'antenne de réception de 10 m à 3 m au-dessus du niveau du sol. Les valeurs que l'on peut utiliser sont données dans la Recommandation 370 bien que des travaux plus récents réalisés au Royaume-Uni [CCIR, 1978-82f] tendent à montrer que l'effet d'une modification de la hauteur de l'antenne de réception sur les niveaux du signal reçu dans la bande II ne dépend pas de la distance; toutefois, d'autres mesures sont nécessaires.

— En un emplacement donné d'une zone, la valeur réelle du gain dû à la hauteur peut différer de nombreux décibels d'avec la médiane.

* Les coefficients de l'expression (1) diffèrent de ceux qui figurent dans la réf. [Longley, 1976] où Δh est défini en fonction de la distance au lieu de l'être pour une distance fixe de 10 à 50 km.

Un très important programme de mesure du gain de hauteur de l'antenne de réception a été exécuté en URSS. Plusieurs centaines de mesures dans les bandes I, III, IV et V ont été faites dans des zones de banlieue et des zones rurales, avec des hauteurs d'antennes de réception de 3 m et de 10 m, à des distances de l'émetteur variant de 10 à 100 km. La valeur de Δh dans ces zones variait de 30 à 350 m et les résultats confirment que le facteur de gain de hauteur décroît quand Δh croît, en accord avec la tendance indiquée par la Fig. 17 de la Recommandation 370. Cependant, les valeurs mesurées sont plus élevées que celles indiquées par cette figure, et elles montrent de plus que les résultats ne dépendent pas de la distance dans les limites de l'étude.

Des mesures effectuées aux Etats-Unis d'Amérique dans la gamme des fréquences comprises entre 55 et 800 MHz et à des distances allant de 8 à 90 km [TASO, 1959] montrent que la différence de champ, pour des hauteurs d'antenne de réception de 9,1 m et de 3,0 m, en présence d'obstacles tels que des bâtiments et de la végétation au voisinage de l'antenne de réception, est supérieure à celle que l'on observe dans des zones non construites ou dans des zones à faible densité de végétation. La différence médiane des champs est de 9 dB pour les zones construites, de 7 dB pour les zones à forte densité d'arbres et de végétation et de 5 dB pour les zones non construites et celles à faible densité d'arbres et de végétation. On trouve que ces résultats sont généralement indépendants de la fréquence. Cependant, ces valeurs donneront lieu à une étude ultérieure concernant l'effet de la fréquence sur la médiane des gains de hauteur et sur leur écart type.

De même, des mesures faites au Royaume-Uni révèlent que les composantes d'un signal à polarisation horizontale ou verticale présentent toutes deux, entre 10 m et 3 m au-dessus du sol, une variation linéaire du champ en fonction de la hauteur de l'antenne, mais qu'on observe peu de changement dans la composante verticale reçue lorsque l'antenne est à une hauteur de moins de 3 m.

Des mesures ont été faites en Yougoslavie (République socialiste fédérative de) [CCIR, 1986-90e] avec des hauteurs d'antenne de réception de 3 m et de 10 m et avec différentes combinaisons de la polarisation de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception. Les mesures ont été faites à une fréquence de 96,9 MHz à des emplacements dégagés d'une zone suburbaine, sur un trajet de propagation d'environ 25 km. Les résultats indiquent qu'un accroissement moyen du gain compris entre 8,1 et 8,8 dB est obtenu avec l'antenne la plus haute et pour les diverses combinaisons de polarisation à l'émission et à la réception, la plus faible valeur correspondant au cas d'une polarisation horizontale à l'émission et verticale à la réception.

Des mesures ont été effectuées en Inde [CCIR, 1986-90a] pour étudier l'effet d'un rehaussement de l'antenne de réception de 3 à 10 m au-dessus du niveau du sol sur le champ reçu. La variation en fonction de la distance sur terrain plat pour différentes bandes d'ondes métriques est représentée sur la Figure 4. Aucune tendance claire de variation du champ avec la hauteur de l'antenne de réception n'a pu être établie sur des terrains vallonnés ou montagneux.

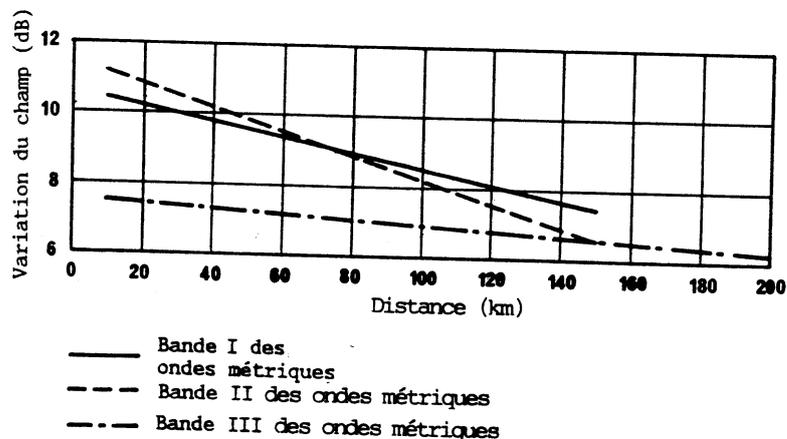


FIGURE 4

Variation de la différence du champ entre des hauteurs d'antenne de réception de 3 et 10 mètres en fonction de la distance pour un terrain plat dans les bandes d'ondes métriques

4.4.2 Rapport entre les champs mesurés dans une ville et dans ses environs

D'après les données actuellement disponibles, si les antennes de réception sont suffisamment élevées au-dessus du niveau des toits environnants, le champ reçu est pratiquement du niveau indiqué par les courbes de la Recommandation 370.

L'expérience a montré que, dans les bandes I et II, il n'existe pas une grande différence entre les champs mesurés à une hauteur de 10 m dans les zones rurales et dans les zones urbaines. Dans la bande III, des travaux faits en République populaire de Pologne ont montré que les champs observés à une hauteur de 10 m dans des zones suburbaines sont à peu près du niveau de ceux que l'on obtient dans des régions rurales équivalentes et que les valeurs de l'affaiblissement maximal au centre d'une zone urbaine sont les suivantes: dans une zone urbaine de 400 000 habitants, 16 dB à 10 m et 6 dB à 16 m (niveau moyen des toits), et dans une zone urbaine de 80 000 habitants [TASO, 1959], 12 dB à 10 m. Dans les zones de construction dense, les champs reçus peuvent être réduits de 6 à 16 dB selon le caractère des bâtiments. Des études effectuées dans la bande III en Inde [CCIR, 1986-90a] pour comparer les champs à 10 mètres au-dessus du sol dans les villes et les zones rurales avoisinantes sur terrain plat, pour 1 ville d'environ 1 million d'habitants (consistant surtout en immeubles de 3 étages, avec quelques-uns allant jusqu'à 8 étages) et une autre d'environ 0,1 million d'habitants (bâtiments d'1 ou 2 étages), indiquent respectivement des réductions médianes de 14,5 et 8 dB.

On a essayé à la suite de mesures plus approfondies faites, en bande IV, en République populaire de Pologne [Ogulewicz, 1971] d'établir une relation entre l'affaiblissement dans les zones urbaines et un facteur de densité des constructions. Ces mesures ont été effectuées pour une zone se trouvant en limite du service et dans laquelle l'angle d'arrivée du signal était petit; elles ont montré que l'affaiblissement peut varier de 3 dB pour une petite valeur du facteur de densité des constructions à 28 dB pour une grande valeur de ce facteur. Cependant, dans les zones de très grande densité de construction, on doit tenir compte du gain dû à la hauteur au-dessus de 10 m (niveau de référence), la valeur moyenne de ce gain étant, dans les grandes villes, de 12 dB lorsqu'on double la hauteur de l'antenne de réception. En ce qui concerne les ondes décimétriques, des travaux effectués récemment au Royaume-Uni ont révélé un affaiblissement médian de 9 dB pour les zones urbaines, dans le sud-est de l'Angleterre.

-- Des expériences effectuées en Italie dans les bandes des ondes métriques et décimétriques dans des zones à forte densité de construction ont montré que l'affaiblissement linéique supplémentaire dépend principalement de la densité de construction et de la hauteur des bâtiments, de l'angle d'arrivée des ondes à l'antenne de réception et de l'orientation de la rue par rapport à la direction de l'émetteur vu de l'emplacement de réception.

Il y aurait lieu de prélever un échantillonnage statistique plus étendu pour caractériser chaque type d'agglomération urbaine.

4.4.3 Antennes sur le toit et antennes intérieures

On a comparé le signal reçu par des antennes installées sur les toits et à l'intérieur des habitations de la ville de New York, tant du point de vue du champ que de l'appréciation subjective de la qualité de l'image de télévision. Les distributions de l'affaiblissement de transmission d'un point à un autre étaient log-normales, avec des écarts types de 16 et 14 dB pour les mesures faites respectivement sur les toits et à l'intérieur des habitations. Dans ces distributions, les médianes variaient de 16 à 35 dB selon la fréquence, le type de bâtiment et le type de trajet. Cette différence était plus grande de 7 dB à 570 MHz qu'à 55 MHz, de 10 dB pour des bâtiments en béton armé que pour des maisons de bois et de 5 dB à l'intérieur de l'île de Manhattan qu'à l'extérieur de cette île.

Au Royaume-Uni, des mesures faites en ondes décimétriques (600 MHz) au rez-de-chaussée et dans les combles d'immeubles suburbains à deux niveaux ont mis en évidence un affaiblissement moyen de 19 dB et 10 dB respectivement, par comparaison avec des mesures faites à une hauteur de 10 m dans la rue, à l'extérieur de ces immeubles [Sofaer et Bell, 1966].

Les résultats d'études faites en Inde [CCIR, 1986-90a] sur l'affaiblissement de signaux à ondes métriques à polarisation horizontale reçus à l'intérieur des habitations comparé avec celui de signaux reçus à l'extérieur, à 10 m au-dessus du sol, sont donnés ci-après, dans le Tableau I.

TABLEAU I

EMPLACEMENT DE L'ANTENNE INTERIEURE (HAUTEUR AU-DESSUS DU NIVEAU DU SOL)	BANDE	DIMINUTION DU CHAMP		TYPE DE CONSTRUCTION
		MEDIANE (dB)	ECART TYPE (dB)	
Rez-de-chaussée (2,5 m)	I	24,5	5,6	Béton armé
- idem -	II	25	4,7	Béton armé
- idem -	III	23	5,4	Brique/Pierre
Premier étage (5 m)	I & II	16	4	Béton armé
- idem -	III	15,75	3,65	Brique
Dans une hutte (1,5 m)	II	20	3	Murs de briques et toit de chaume

4.5 Phénomènes de dégradation de la polarisation

On considère ici le facteur de transpolarisation, qui est le rapport de l'amplitude de la composante à polarisation orthogonale, produite par un certain mécanisme de propagation, à l'amplitude de l'onde initiale à polarisation rectiligne.

Si l'émetteur se trouve en terrain dégagé, le rapport de découplage obtenu au niveau des toits dans une zone urbaine, par l'emploi de polarisations orthogonales, peut avoir une médiane de 18 dB; les valeurs correspondantes qui sont dépassées en 90% et 10% des points de réception sont respectivement de 9 dB et 29 dB (voir le Rapport 122). Des mesures faites au Royaume-Uni confirment la valeur de cette médiane lorsque la hauteur de l'antenne de réception est comprise entre 2,5 m et 10 m. Le rapport de découplage est meilleur en terrain découvert et moins bon en des points de réception encombrés d'obstacles, ou lorsque les conditions de réception sont médiocres. De même, des mesures faites au Royaume-Uni révèlent qu'avec des antennes de réception peu élevées le rapport de découplage est petit.

Des mesures faites en République fédérale d'Allemagne à 520 et 700 MHz ont montré que la dégradation de la polarisation des ondes à polarisation verticale dépasse de 1 à 2 dB celle des ondes polarisées horizontalement. Par ailleurs, des études effectuées au Royaume-Uni à 570 MHz ont montré qu'avec une antenne à polarisation verticale et orientée à 180° d'une onde incidente à polarisation horizontale, le rapport de découplage dépasse de 6 dB le rapport des gains avant/arrière (16 dB) de l'antenne.

L'Administration de la République socialiste tchécoslovaque [Králík et autres, 1961 et 1962] et d'autres administrations ont étudié l'influence exercée par le type du terrain au voisinage du point de réception. Des mesures faites à 570 MHz dans la zone de service ont montré que la polarisation est dégradée par l'irrégularité du terrain aux points de réception, de la même manière que l'affaiblissement est accru par la diffraction. Les résultats en sont récapitulés dans le Tableau II.

La dernière ligne du Tableau I montre que dans une zone boisée la polarisation se dégrade bien plus que dans d'autres régions où l'affaiblissement de propagation est pourtant le même.

Des mesures faites près de Heidelberg, en République fédérale d'Allemagne, à 520 et 700 MHz, ont révélé que l'influence de la fréquence et de la densité de construction est négligeable. Le Tableau III montre quelle est l'influence des variations du paramètre Δh .

TABLEAU II

Type de terrain	Médiane de l'affaiblissement de propagation par rapport à l'espace libre (dB)	Rapport de découplage dépassé en 90 % des emplacements (dB)
Région suburbaine, en visibilité directe de l'émetteur	7	18
Région suburbaine, zone de faible diffraction	26	13
Région suburbaine, zone de diffraction modérée	31	10
Région suburbaine, zone de forte diffraction	40	4
Région très boisée (arbres feuillus), aucun obstacle de terrain	27	2

TABLEAU III

Type de terrain	Δh (m)	Rapport de découplage dépassé en 90 % des emplacements (dB)	Rapport de découplage dépassé en 50 % des emplacements (dB)
Plat	10	20	30
Vallonné	50	14	27
Montagneux	200	0	16

4.6 Affaiblissement dû à la végétation

L'affaiblissement au-dessus d'un terrain boisé ou à couverture végétale varie avec la fréquence. Dans la pratique, on a observé cependant que l'affaiblissement dû à la végétation ne dépasse pas quelque 30 dB à des fréquences inférieures à 500 MHz environ [Ogulewicz, 1972].

Des mesures [Sofaer et Bell, 1966] effectuées en été et en hiver au-delà de bois composés d'espèces feuillues, montrent que, si l'affaiblissement dû au feuillage n'est pas négligeable en ondes décimétriques, il est cependant sensiblement moindre que celui qui est dû à des arbres dénudés.

On a constaté que les valeurs médianes de l'affaiblissement de signaux à polarisation horizontale dans la bande III due aux arbres dans les régions tropicales [CCIR, 1986-90a] varient de 6 dB à 13 dB (avec des écarts types de 6,4 dB et 9,6 dB respectivement) selon la densité.

On a relevé des mesures comparatives faites avec des ondes, les unes à polarisation horizontale et les autres à polarisation verticale: bien que la différence ne soit pas toujours prononcée, il semble que l'affaiblissement soit souvent légèrement plus grand en polarisation verticale.

La propagation à travers des zones forestières est traitée plus en détail dans le Rapport AB/5.

4.7 Affaiblissement dû aux bâtiments

L'affaiblissement dû aux bâtiments varie lui aussi avec la fréquence. Une étude effectuée au Japon [Kinase, 1969] a fourni des valeurs de l'affaiblissement au-delà de bâtiments, en fonction de la fréquence, de la hauteur des bâtiments, de leur dimension dans la direction de la propagation et de l'angle d'arrivée. Cette étude fait intervenir un paramètre qui tient compte des effets produits par un chaos d'obstacles autour du point de réception. Cela s'ajoute aux corrections pour accidents de terrain. Les valeurs ainsi calculées concordent bien avec des valeurs mesurées à 100, 200 et 700 MHz.

Des mesures faites au Royaume-Uni [Sofaer et Bell, 1966] ont fourni des valeurs de l'affaiblissement subi au-delà de bâtiments de divers types, en ondes décimétriques (600 MHz); ces valeurs peuvent atteindre 30 dB.

Des mesures faites en République fédérale d'Allemagne ont montré qu'à 190 MHz, sur des trajets à visibilité directe, le champ en polarisation verticale est inférieur de 3 dB à ce qu'il est en polarisation horizontale; cette différence se trouve portée à 4,5 dB en des emplacements masqués. D'autres mesures effectuées en des emplacements masqués, à 97 MHz, ont fait apparaître une différence de 5 dB avec un écart de $\pm 5,2$ dB. A 500 MHz, les différences de propagation entre polarisations sont beaucoup moins marquées, les valeurs correspondantes variant entre 0 dB et 1,5 dB. On a constaté que la qualité subjective des images de télévision est en bonne corrélation avec les résultats de ces mesures.

5. Trajet mixte terrestre-maritime

S'il s'agit d'un trajet mixte terrestre-maritime, il faut évaluer l'influence de cette mixité sur le signal reçu. Aux fins générales de planification, on peut procéder à une interpolation adéquate entre les courbes d'affaiblissement relatives aux trajets entièrement terrestres et les courbes relatives aux trajets entièrement maritimes (voir la Recommandation 370) (méthode A).

Lorsqu'on peut évaluer la moyenne dans la zone de réception des angles de site de l'horizon vu des antennes de réception, on peut employer une méthode mise au point en Suède [Rue, 1976] (méthode B).

Dans des cas particuliers, on a pu prévoir sur ordinateur – cas par cas – l'affaiblissement sur des trajets mixtes, en introduisant dans les programmes les caractéristiques du profil terre-mer entre l'émetteur et le point de réception [Causebrook et King, 1974] (voir le § 6.1).

On peut aussi recourir à d'autres méthodes informatiques [Longley et Rice, 1968; Causebrook et Lee, 1972; Causebrook et autres, 1969] pour évaluer le champ reçu sur des trajets mixtes.

5.1 Méthode A

On peut utiliser la méthode ci-après pour faire une interpolation linéaire entre les courbes de mer et de Terre données dans la Recommandation 370; tous les champs sont exprimés en dB(μ V/m):

$E_{L,t}$: champ pour trajet terrestre de longueur égale à celui du trajet mixte pendant $t\%$ du temps, pour $\Delta h = 50$ m,

$E_{S,t}$: champ pour trajet maritime de longueur égale à celui du trajet mixte pendant $t\%$ du temps,

$E_{M,t}$: champ pour trajet mixte, pendant $t\%$ du temps,

d_S : longueur du trajet maritime,

d_T : longueur du trajet total.

Il est possible de déterminer en utilisant la formule ci-après la valeur médiane du champ pour le trajet mixte ($E_{M,t}$) pour toutes les valeurs de t dans la bande des ondes métriques et pour t égal à 10% et 50% dans la bande des ondes métriques:

$$E_{M,t} = E_{L,t} + \frac{d_S}{d_T} [E_{S,t} - E_{L,t}] \quad (3)$$

Dans le cas où t est égal à 1% et 5% dans la bande des ondes décimétriques, il est possible de déterminer le champ médian d'après la formule ci-après:

$$E_{M,t} = E_{L,t} + A [E_{S,t} - E_{L,t}] \quad (4)$$

où A est un facteur d'interpolation indiqué dans la Fig. 5.

On peut appliquer un facteur de correction Δh pour $E_{L,i}$ en utilisant les valeurs appropriées données dans les Fig. 7 et 8 de la Recommandation 370.

Il n'est pas possible d'utiliser cette méthode pour des distances nettement au-delà de l'horizon.

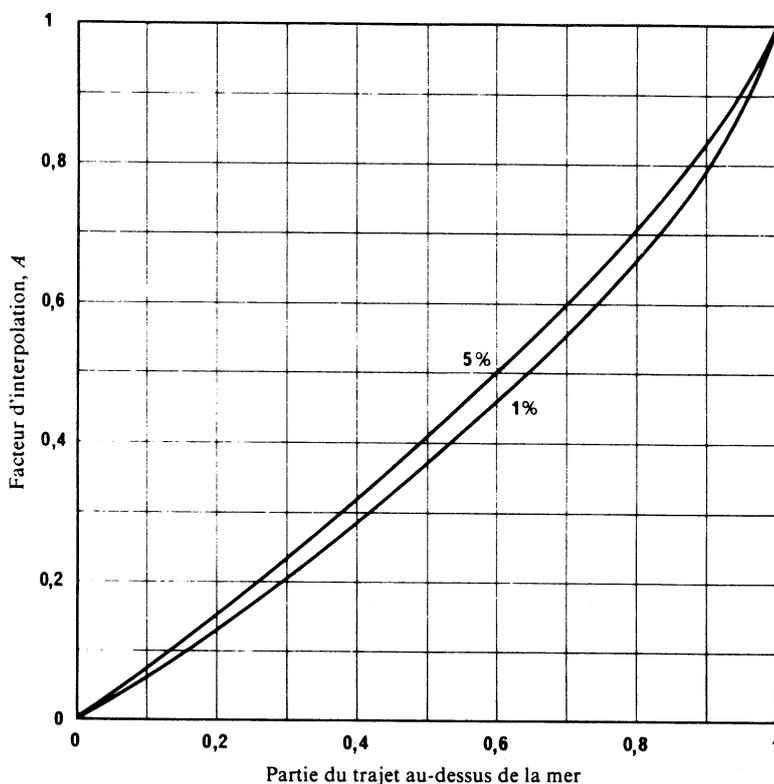


FIGURE 5 – Interpolation pour des trajets mixtes terre-mer

5.2 Méthode B

Comme la méthode A, la méthode B [Rue, 1976], associée aux courbes de propagation de la Recommandation 370, qui sont relatives à des trajets entièrement terrestres ou entièrement maritimes, est applicable à l'évaluation des champs sur un trajet mixte, à condition qu'on puisse calculer la moyenne de l'angle de site de l'horizon vu des antennes de réception dans la zone de réception.

6. Méthodes informatiques pour les calculs du champ

Pour les calculs du champ sur des trajets où une grande précision est nécessaire, il est possible d'utiliser des méthodes informatiques.

6.1 Une méthode entièrement informatique a été mise au point au Royaume-Uni [Causebrook et King, 1974]; elle a pour objet de calculer cas par cas des profils de trajet, de quelque type qu'ils soient. Fondée sur la théorie de la diffraction et sur une analyse statistique des mesures, elle met en jeu un facteur de courbure équivalente de la Terre, que l'on fait varier avec le pourcentage du temps considéré, et elle tient compte des phénomènes de propagation par conduits qui ont lieu pendant de petits pourcentages du temps dans la bande des ondes décimétriques.

6.2 La méthode ci-dessus permettra généralement d'obtenir des prévisions extrêmement précises, mais il existe aussi des méthodes informatiques simples aux Etats-Unis [Longley et Rice, 1968] et au Royaume-Uni [Causebrook et Lee, 1972; Causebrook et autres, 1969] qui peuvent être satisfaisantes dans de nombreuses applications.

En République populaire de Pologne [CCIR, 1978-82g], _____ on a modifié la méthode du Royaume-Uni pour mieux tenir compte de l'influence du terrain montagneux et des paramètres troposphériques typiques de régions spécifiques. Il en est résulté une bonne concordance entre les résultats calculés et les résultats mesurés.

En Italie, la méthode du Royaume-Uni a été adaptée pour les bandes des ondes métriques et décimétriques, à la situation troposphérique caractérisant la Région méditerranéenne et l'orographie de l'Italie. Une bonne correspondance a été obtenue entre les calculs et les mesures. D'autres méthodes sont à l'étude pour évaluer la possibilité d'améliorer la précision des prévisions [CCIR, 1986-1990b], [Isola et Riccardi, 1988].

Une méthode simple adaptée à l'utilisation d'un mini-ordinateur a été mise au point en République socialiste fédérative de Yougoslavie [CCIR, 1978-82h] aux fins de coordination et de planification dans les bandes de fréquences des ondes métriques et décimétriques; cette méthode donne également des résultats de prévision qui concordent bien avec les données mesurées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKEYAMA, A. et NISHIO, M. [mars 1985] VHF/UHF band propagation characteristics on oversea path. National Convention Record No. 649, Institute of Electronics and Communications Engineers of Japan, Tokyo, Japon.
- CAUSEBROOK, J. H., DAVIS, B. et SANDELL, R. S. [1969] The prediction of co-channel interference to television broadcasting services to the frequency range 470-960 MHz. BBC Res. Dept., Rapport N° 1969/33.
- CAUSEBROOK, J. H. et KING, R. W. [1974] Computer programs for UHF co-channel interference prediction using a terrain data bank. BBC Res. Dept., Rapport N° 1974/6.
- CAUSEBROOK, J. H. et LEE, R. W. [1972] Calculation of the field strength required for a television service in the presence of co-channel interfering signals. Partie 1, BBC Res. Dept., Rapport N° Ra-12/1.
- DANIELSEN, A. B. et STOKKE, K. N. 1987 - Comparative measurements of vertical and horizontal polarization for television transmissions in the VHF band. *Elektronisk No. 2*, Norwegian Telecommunications Administration, Oslo.
- FEDI, F., RICCARDI, M. et RODINO DI MIGLIONE, F. [novembre 1973] Propagation des ondes décimétriques à grande distance sur la Méditerranée. *Alta Frequenza*, édition anglaise, Vol. XLII, 11, 564-571.
- FLAVELL, R. G. [1985] Extreme range statistics for seven amateur bands, 144-10 368 MHz. IEE Conf. Publ. N° 248, 498-501. IEE Fourth International Conference on Antennas and Propagation (ICAP 85), Coventry, Royaume-Uni.
- GOUGH, M. W. [1958] Diurnal influences in tropospheric propagation. *Marconi Rev.*, Vol. 131, XXI, 198-212.
- ISOLA, C. et RICCARDI, M. [avril 1988] - Préviation informatisée des champs en ondes métriques et décimétriques. *Revue technique de l'UER* N° 228.
- KALAGIAN, G. S. et TAWIL, V. [1983] Great Lakes UHF-TV measurement project, long-term and mobile measurements in Buffalo, NY, FCC Report (à paraître).
- KINASE, A. [mars 1969] Influence of terrain irregularities and environmental clutter surroundings on the propagation of broadcasting waves in the UHF and VHF bands. *NHK Tech. Monograph*, 14, Japon.
- KRÁLÍK, F., KÜHN, U. et VOČADLO, V. [décembre 1961] Ausbreitungsmessungen bei 480 MHz und 780 MHz im Gebirge der Niederen Tatra (Mesures de propagation à 480 et 780 MHz dans les montagnes de Bas-Tatra (République socialiste tchécoslovaque)). *Techn. Mitt. BRF*, Vol. 5, 4, 174-177 et *Techn. Mitt. RFZ*, Vol. 6, 1, 18-22 (mars 1962).
- KRÁLÍK, F., KÜHN, U. et VOČADLO, V. [1962] Ausbreitung von Dezimeterwellen bei horizontaler und vertikaler Polarisation und Höhenabhängigkeit der Feldstärke im Gebirge (Propagation des ondes décimétriques en polarisations horizontale et verticale, et variation du champ en fonction de la hauteur du terrain montagneux). *Techn. Mitt. RFZ*, Vol. 6, 4, 162-166.
- KÜHN, U. [1968] Die Geländedämpfung im UKW-Rundfunkband (87,5-100 MHz) (Affaiblissement dû au terrain en radiodiffusion à ondes métriques (87,5 à 100 MHz)). *Nachrichtentechnik*, 18, 18, 414-415.
- KÜHN, U., TROMMER, H. et OGULEWICZ, S. [1969] Mehrjährige Ausbreitungsuntersuchungen bei 495 MHz auf der Seestrecke Jaroslavec-Sassnitz (Ostsee) (Etudes pluriannuelles de la propagation à 495 MHz sur le trajet maritime Jaroslavec-Sassnitz (Baltique)). *Techn. Mitt. RFZ*, Vol. 13, 3, 128-133.
- LaGRONE, A. H. [juin 1960] Forecasting television service fields. *Proc. IRE*, Vol. 48, 6, 1009-1015.

- LONGLEY, A. G. [mai 1976] Location variability of transmission loss ... land mobile and broadcast systems. Office of Telecommunications Rep. PB 254472 National Technical Information Service, Springfield, Va., 22161, Etats-Unis d'Amérique.
- LONGLEY, A. G. et RICE, P. L. [1968] Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain. A computer method. AD 676874 National Technical Information Service, Springfield, Va., 22161, Etats-Unis d'Amérique.
- MISME, P. [janvier-février 1966] Propagation transhorizon à très grande distance au-dessus de l'Atlantique intertropical. *Ann. des Télécomm.*, Vol. 21, 1-2, 40-46.
- MURRAY, O. M. [1972] Long range UHF survey in the Gulf. Marconi Technical Report 72/34. Marconi Research Centre, GEC Research Labs., Chelmsford, Essex, Royaume-Uni.
- NBS [1967] National Bureau of Standards, Note technique N° 101, révisée, I et II, AD 687820 et AD 687821, National Technical Information Service, Springfield, Va., 22161, Etats-Unis d'Amérique.
- OGULEWICZ, S. [1971] Propagation en ondes décimétriques dans les zones urbaines. *Prace Instytutu Łączności*, Vol. XVIII, 4 (64) (en polonais) – Un résumé de cet article a été présenté dans le doc. CCIR 5/81 (République populaire de Pologne) 1970-74.
- OGULEWICZ, S. [1972] L'influence de la végétation sur l'affaiblissement en bande IV (en polonais). Rapport 102-01-08-01, *Prace Instytutu Łączności*, Varsovie, République populaire de Pologne.
- OKUMURA, Y., OHMORI, E., KAWANO, T. et FUKUDA, K. [septembre-octobre 1968] Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service. *Rev. Elec. Comm. Labs.*, Vol. 16, 9-10, 825-873.
- PALMER, F. H. [1980] Report on the Great Lakes measurements program – Comparisons of Canadian data with the predictions of FCC R-6602. Communications Research Centre Rep. N° 1332, Ottawa, Canada.
- RAŠAJSKI, S. B., PETROVIĆ, Z. R. [1987] Computer-Aided Calculation of the effect of correction terrain factors and its usage in determination of coverage area, MELECON '87 and 34th Congress of Electronics Proceedings, Vol. III: Radiocommunications, Rome, mars 1987.
- RUE, O. [1976] Propagation over mixed land-sea paths on VHF and UHF. *TELE*, Suède (édition anglaise), 2, 25-29.
- SOFAER, E. et BELL, C. B. [juillet 1966] Factors affecting the propagation and reception of broadcasting signals in the UHF bands. *Proc. IEE*, Vol. 113, 7, 1133-1140.
- TASO [1959] Report of Television Allocations Study Organization to the Federal Communications Commission. Wallace Homestead Books, Des Moines, Iowa, Etats-Unis d'Amérique.
- THÉLOT, B. [avril 1981] Méthodes de calculs de paramètres de propagation utilisées en ondes métriques et en ondes décimétriques. *Rev. de l'UER* (technique), 186, 76-81.
- TROITSKY, V. N., PETRUSHKO, J. I. et MESTSHERSKY, B. P., et autres [1989] - Sverekdalnee rasprostranenie - Metrovich, decimetrovich i santimetrovich radiowoln nad morem (Propagation à très longue distance des ondes radioélectriques métriques, décimétriques et centimétriques au-dessus de la mer). *Elektrosviaz*, N5.
- UER [1965] Monographie 3104. Détermination des emplacements d'émetteurs en ondes métriques et décimétriques.
- WHITTEKER, J. H. [1985] Measurements of VHF/UHF radio propagation in a maritime temperate climate, Communications Research Centre Report 1380, Dept. of Communications, Canada.
- Documents du CCIR*
- [1974-78]: 5/74 (Italie).
- [1978-82]: _____ b. 5/303 (République démocratique allemande); c. 5/216 (Inde); d. 5/215 (Inde); e. 5/214 (Inde); f. 5/266 (Royaume-Uni); g. 5/79 (Pologne (République populaire de)); h. 5/119 (Yougoslavie (République socialiste fédérative de)).
- [1982-86]: a. 5/125 (Gulfvision); b. 5/124 (République islamique d'Iran; Etat d'Israël); c. 5/58 (Royaume-Uni); d. 5/323-326, 5/333 (Gulfvision); e. 5/215 (GTI 5/5); f. 5/339 (GTI 5/5); g. 5/269 (URSS).
- [1986-90]: a. 5/254 (URA); b. 5/55 (Italie); c. 5/65 (URSS); d. 5/106 (Yougoslavie (République socialiste fédérative de)); e. 5/104 (Yougoslavie (République socialiste fédérative de)).

BIBLIOGRAPHIE

- CARLSSON, G., WESTER, L. Å. et LINDQUIST, R. [mai 1972] Influence de la ligne côtière sur la propagation de l'onde de sol HF (en suédois). Conférence radioscientifique, Lund, Suède.
- HAUTEFEUILLE, M., BOYLE, A. W., TIMMERS, A. G. W. et SHANNON, J. D. [1980] Evanouissement par propagation guidée: le cas du Sénégal est-il unique? *J. des Télécomm.*, Vol. 47, VIII, 517.
- MILLINGTON, G. [janvier 1949] Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth. *Proc. IEE*, Vol. 96, Partie III, 39, 53-64.
- MILLINGTON, G. et ISTED, G. A. [juillet 1950] Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth. Partie 2. Experimental evidence and practical implications. *Proc. IEE*, Vol. 97, Partie III, 48, 209-222.

Documents du CCIR

- [1974-78]: 5/17 (Suède); 5/18 (Suède); 5/66 (URSS).
- [1978-82]: 5/332 (Yougoslavie (République socialiste fédérative de)).