

## RECOMMANDATION 679-1

DONNÉES DE PROPAGATION NÉCESSAIRES POUR LA CONCEPTION  
DES SYSTÈMES DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE

(Question 16/5)

(1990-1992)

Le CCIR,

*considérant*

- a) que, pour planifier convenablement les systèmes de radiodiffusion par satellite, il est nécessaire que l'on dispose de données de propagation et de méthodes de prévision appropriées;
- b) que les méthodes de la Recommandation 618 sont recommandées pour la planification des systèmes de télécommunication Terre-espace;
- c) que de nouveaux développements des méthodes de prévision pour des applications spécifiques aux systèmes de radiodiffusion par satellite sont nécessaires pour donner une précision adéquate dans toutes les conditions d'exploitation;
- d) qu'il existe cependant des méthodes qui donnent une précision suffisante pour de nombreuses applications,

*recommande*

que les données actuelles de propagation figurant dans l'Annexe 1 soient adoptées pour la planification des systèmes de radiodiffusion par satellite, en plus des méthodes préconisées dans la Recommandation 618.

## ANNEXE 1

## 1. Introduction

Les questions de propagation qui interviennent dans le service de radiodiffusion par satellite ne sont pas tout à fait comparables à celles que l'on rencontre dans le service fixe par satellite. Pour la transmission dans le sens espace-Terre, on a besoin de données sur l'affaiblissement sous la forme de moyennes statistiques et/ou de cartes de contours d'affaiblissement et de transpolarisation pour des zones de grande superficie. Des problèmes particuliers de coordination peuvent se présenter à la limite de la zone de service entre des systèmes de radiodiffusion par satellite et des services de Terre ou d'autres services spatiaux. On trouve dans la Recommandation 618 l'exposé de méthodes générales de prévision des effets de la propagation sur le trajet Terre-espace. La présente Annexe contient des renseignements supplémentaires propres à la planification des systèmes de radiodiffusion par satellite. Il convient de noter que les liaisons de connexion sont considérées comme faisant partie des services fixes par satellite, et non du service de radiodiffusion par satellite.

Pour les trajets espace-Terre des systèmes de radiodiffusion, il existe plusieurs effets de la propagation que l'on peut être amené à prendre en considération.

Ce sont notamment:

- des effets troposphériques, comprenant l'absorption par les gaz, l'affaiblissement et la transpolarisation dus à la pluie et à d'autres hydrométéores;
- des effets ionosphériques, tels que la scintillation et la rotation de Faraday (voir la Recommandation 531);
- des effets locaux de l'environnement, dont l'affaiblissement est dû à la présence de bâtiments et de végétation.

La présente Annexe passe en revue les effets susmentionnés et contient des références à d'autres Recommandations où l'on trouvera des compléments d'information. On a besoin de recueillir encore davantage de données afin de caractériser les dégradations que cause la propagation aux systèmes de radiodiffusion par satellite.

## 2. Effets troposphériques

Les dégradations que la troposphère fait subir à un signal sont négligeables aux fréquences inférieures à 1 GHz environ et pour des angles d'élévation du trajet supérieurs à 10°.

A mesure que l'angle d'élévation diminue et/ou que la fréquence augmente, ces dégradations s'aggravent de plus en plus et les fluctuations de l'amplitude du signal et de son angle d'arrivée peuvent être notables (voir la Recommandation 618). Ces effets ont une importance particulière pour les zones de service de latitude élevée. L'élévation de la température de bruit du ciel provoquée par les précipitations (voir la Recommandation 618) réduiront encore le rapport  $C/N$  du signal reçu. En outre, des accumulations de neige et de glace sur les réflecteurs et les sources d'alimentation de l'antenne peuvent sérieusement dégrader les caractéristiques contrapolaires, ainsi que celles de pointage et de gain de l'antenne pendant des périodes importantes de l'année.

### 2.1 *Affaiblissement troposphérique*

La troposphère donne lieu à un affaiblissement des signaux dû à une absorption par les gaz, ainsi qu'à un affaiblissement dû à la pluie et autres hydrométéores. De plus, de faibles variations de l'indice de réfraction atmosphérique entraînent une scintillation qui contribue tant à des évanouissements qu'à des renforcements des signaux.

#### 2.1.1 *Affaiblissement par les gaz de l'atmosphère*

L'exposé de la méthode recommandée pour prévoir l'affaiblissement par les gaz se trouve dans la Recommandation 618. Pour la plupart des fréquences, l'affaiblissement par les gaz est généralement très inférieur à l'affaiblissement dû à la pluie. Toutefois, dans la bande de 22 GHz attribuée dans certaines régions au service de radiodiffusion par satellite, l'absorption par la vapeur d'eau peut être tout à fait importante. Par exemple, à un emplacement où l'affaiblissement sur un trajet à 22,75 GHz est supérieur à 9,5 dB pendant 1% du mois le plus défavorable, l'affaiblissement par les gaz peut entrer pour environ 3 dB dans ce total de 9,5 dB.

#### 2.1.2 *Affaiblissement par les précipitations et les nuages*

La méthode de prévision de l'affaiblissement par les précipitations et les nuages est exposée dans la Recommandation 618, ainsi qu'une méthode simple de similitude en fréquence des statistiques mesurées de l'affaiblissement. L'affaiblissement dû aux nuages sera peu prononcé pour les fréquences inférieures à 30 GHz; de toute façon, il en est tenu compte dans la méthode de prévision de l'affaiblissement dû à la pluie. Si l'on connaît la teneur en eau liquide, l'utilisation de la méthode de la Recommandation 840 permet d'évaluer l'affaiblissement par le brouillard et les nuages.

#### 2.1.3 *Affaiblissement dû à la pluie pour le mois le plus défavorable*

Pour la radiodiffusion par satellite, le paramètre qui présente habituellement le plus d'intérêt est l'affaiblissement dû à la pluie qui est dépassé pendant 1% du mois le plus défavorable. La méthode permettant de relier les pourcentages de temps pendant le mois le plus défavorable aux pourcentages annuels de temps pour l'affaiblissement dû à la pluie est décrite dans la Recommandation 618. On trouve dans la Recommandation 581 l'exposé détaillé du traitement du mois le plus défavorable et de la base sur laquelle il est fondé.

Les données disponibles sur l'affaiblissement dû à la pluie pendant le mois le plus défavorable sont compilées dans le Tableau II-2 des banques de données du CCIR (voir la Recommandation 311).

#### 2.1.4 *Variation des évanouissements en fonction de l'heure du jour*

L'influence exercée par l'heure du jour sur l'occurrence des évanouissements est un facteur non négligeable à considérer dans la conception des systèmes de radiodiffusion par satellite. Les données obtenues dans différentes régions du monde révèlent une tendance générale à un accroissement des évanouissements pendant les heures de l'après-midi et en début de soirée. Dans les climats caractérisés par les orages, une plus grande probabilité d'occurrence des évanouissements profonds est associée aux heures pendant lesquelles se produit le niveau maximal de l'activité orageuse locale. Les régions tropicales, en particulier, peuvent être caractérisées par une grande asymétrie journalière.

Par ailleurs, les évanouissements peu profonds sont distribués avec une plus grande uniformité, au cours des saisons ou des heures du jour.

### 2.1.5 Scintillation

Les petites irrégularités du coïndice de réfraction de la troposphère peuvent donner lieu à de rapides fluctuations de l'amplitude des signaux. Cette scintillation n'intervient généralement pas d'une façon notable dans la performance des systèmes quand les fréquences sont inférieures à environ 10 GHz et quand les angles d'élévation des trajets dépassent 10° mais elle peut être importante quand les angles d'élévation sont plus petits ou quand la fréquence est plus grande – en particulier dans le cas des liaisons à faible marge. La méthode recommandée pour évaluer les évanouissements par scintillation est décrite dans la Recommandation 618.

### 2.2 Transpolarisation

Les hydrométéores (principalement les concentrations de particules de glace et de gouttes de pluie) peuvent causer statistiquement une transpolarisation importante des signaux aux fréquences supérieures à 2 GHz environ. On trouvera dans la Recommandation 618 l'exposé de la méthode recommandée pour la prévision de ces effets.

## 3. Effets ionosphériques

Aux fréquences inférieures à 3 GHz environ, les effets ionosphériques sont importants sur certains trajets et en quelques emplacements. En vue d'ingénierie générale, le Tableau 1 donne pour différentes fréquences les valeurs maximales estimées des effets ionosphériques (obtenues à partir de la Recommandation 531). Les dégradations les plus à craindre sont essentiellement la scintillation et (en polarisation linéaire uniquement) la rotation de Faraday.

TABLEAU 1

**Valeurs maximales estimées\* des effets ionosphériques pour un angle d'élévation d'environ 30°\*\***  
**dans le cas d'une propagation transversale dans un seul sens**  
 (d'après la Recommandation 531)

Effet	Variation en fonction de la fréquence	0,5 GHz	1 GHz	3 GHz	10 GHz
Rotation de Faraday	$1/f^2$	1,2 tour	108°	12°	1,1°
Temps de propagation	$1/f^2$	1 μs	0,25 μs	0,028 μs	0,0025 μs
Réfraction	$1/f^2$	< 2,4'	< 0,6'	< 4,2''	< 0,36''
Variation de la direction d'arrivée (valeur quadratique moyenne)	$1/f^2$	48''	12''	1,32''	0,12''
Absorption (aurorale et/ou calotte polaire)	$\approx 1/f^2$	0,2 dB	0,05 dB	$6 \times 10^{-3}$ dB	$5 \times 10^{-4}$ dB
Absorption (latitudes moyennes)	$1/f^2$	< 0,04 dB	< 0,01 dB	< 0,001 dB	< $10^{-4}$ dB
Dispersion	$1/f^3$	0,0032 ps/Hz	0,0004 ps/Hz	$1,5 \times 10^{-5}$ ps/Hz	$4 \times 10^{-7}$ ps/Hz
Scintillation (1)			> 20 dB crête-à-crête	$\approx 10$ dB crête-à-crête	$\approx 4$ dB crête-à-crête

\* Ces estimations sont fondées sur un contenu électronique total (CET) de  $10^{18}$  électrons/m<sup>2</sup>, qui est une valeur élevée du CET observée aux basses latitudes de jour en période d'activité solaire élevée.

\*\* Les effets ionosphériques au-dessus de 10 GHz sont négligeables.

(1) Valeurs observées près de l'équateur géomagnétique pendant les heures du début de la nuit (heure locale) à l'équinoxe, pour un nombre maximal de taches solaires.

## 4. Effets de l'environnement local

Il existe des emplacements de réception où les effets des structures locales et de la végétation peuvent être importants. Les données susceptibles d'être appliquées aux systèmes de radiodiffusion par satellite sont malheureusement insuffisantes pour caractériser complètement ces effets.

#### 4.1 Réception à l'intérieur des bâtiments

Le Tableau 2 donne l'affaiblissement représentatif des signaux en ondes décimétriques transmis par satellite, observé dans des pièces adjacentes à un mur extérieur d'une habitation privée charpentée en bois. Pour les pièces de l'intérieur, il faut majorer de 0,6 dB les valeurs inscrites dans le tableau. Dans les bâtiments charpentés en bois, l'affaiblissement varie peu selon les conditions météorologiques ou l'angle d'élévation mais, comme l'indique le tableau, l'affaiblissement varie systématiquement avec la fréquence, la polarisation, les matériaux de construction, l'isolation et la position à l'intérieur de la structure. L'affaiblissement dû à certains matériaux de construction ou d'isolation (feuille d'aluminium) peut atteindre 20 dB.

TABLEAU 2

#### Affaiblissement des signaux en ondes décimétriques traversant des bâtiments charpentés en bois\* (dB)

Constitution du bâtiment		Fréquence (MHz) et polarisation			
Gros œuvre	Présence d'une isolation autre que métallique	860 H	860 V	1 550 V	2 569 V
Tout en bois	Plafond seulement	4,7	2,9	5,0	5,8
	Plafond et murs	6,3	4,5	6,6	7,4
Bois avec parements briques	Plafond seulement	5,9	4,1	6,2	7,0
	Plafond et murs	7,5	5,7	7,8	8,6

\* Ce tableau est applicable à des pièces adjacentes à un mur extérieur; pour des pièces limitées par des cloisons intérieures, il faut ajouter 0,6 dB aux valeurs indiquées.

#### 4.2 Réflexions et effets d'écran dûs aux bâtiments

Des mesures ont été effectuées avec un émetteur à polarisation circulaire installé au sommet d'une haute tour et qui émettait des signaux de radiodiffusion sonore MF à 839 MHz et 1 504 MHz; elles ont montré qu'à un angle d'élévation proche de 20° l'intensité de champ à proximité du niveau de la rue en zone urbaine présentait des fluctuations d'un emplacement à un autre d'environ 15 dB à 839 MHz et d'environ 18 dB à 1 504 MHz. Ces fluctuations sont pratiquement les mêmes à la réception, que l'on utilise des antennes à polarisation horizontale ou à polarisation verticale. La qualité du son est peu dégradée par des fluctuations de champ observées dans des conditions de propagation par trajets multiples, même dans des rues étroites et orientées de façon défavorable.

Dans les zones suburbaines et rurales, la réflexion par le sol peut devoir être prise en considération pour déterminer la polarisation préférée, puisque l'onde polarisée verticalement, après réflexion par le sol, passe par un minimum très faible à l'angle pseudo-brewstérien, alors que ce n'est pas le cas pour l'onde polarisée horizontalement. Après réflexion par le sol, l'onde polarisée horizontalement sera donc généralement plus forte que l'onde polarisée verticalement dans le cas d'une Terre lisse et, partant, la somme de l'onde directe et de l'onde réfléchie par le sol donnera un minimum plus accentué et des crêtes plus élevées.

### 5. Distribution statistique pour des zones de grande superficie

Un satellite de radiodiffusion doit desservir, si possible avec la même qualité de service et pendant le même pourcentage du temps, une zone de grande superficie. Or, certaines parties de cette zone peuvent être affectées de façon différente par certains effets de la propagation (c'est par exemple le cas de zones climatiques différentes). Pour connaître ces différences, on peut procéder à des mesures coordonnées effectuées en plusieurs emplacements de réception répartis dans toute la zone de service. Les renseignements ainsi recueillis sont utiles à la fois pour évaluer les besoins en matériel de l'abonné et pour déterminer les conditions de brouillage aux limites de la zone de service, mais ces données sont peu nombreuses.

Les données disponibles montrent que la probabilité de précipitations pluvieuses simultanées en des emplacements distincts peut être de quelques pour-cent pour des distances de séparation allant jusqu'à 500 km et que l'indépendance statistique des précipitations ne peut être présumée pour des distances de séparation inférieures à 800 km environ. Dans le cas de deux emplacements séparés par une distance de 200 km, la probabilité d'intensités de précipitation simultanées de plus de 5 mm/h s'est révélée environ cinq fois supérieure à la probabilité obtenue dans l'hypothèse de l'indépendance statistique.

## **6. Distribution statistique et corrélation de fréquence de signaux**

Des mesures faites en émettant un signal à 567,25 MHz à partir du sommet d'une tour de 515 m, pour simuler une transmission par satellite, ont montré que, pour la grande majorité des emplacements de réception, la distribution des valeurs instantanées de l'enveloppe du signal est très proche d'une distribution log-normale. Si des obstructions par des objets locaux introduisent un affaiblissement de plus de 15 dB par rapport au niveau médian, la distribution des valeurs instantanées est proche d'une distribution de Rayleigh.

Au cours de la même expérience, on a mesuré la corrélation de fréquence de signaux espacés de 0,15 MHz, 0,5 MHz, 1,0 MHz, 2,2 MHz, 4,4 MHz et 6,5 MHz. On a observé que la corrélation de fréquence diminue à mesure qu'augmente l'écart de fréquence et qu'elle n'est qu'incidemment et légèrement affectée par l'angle d'élévation.

---