



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

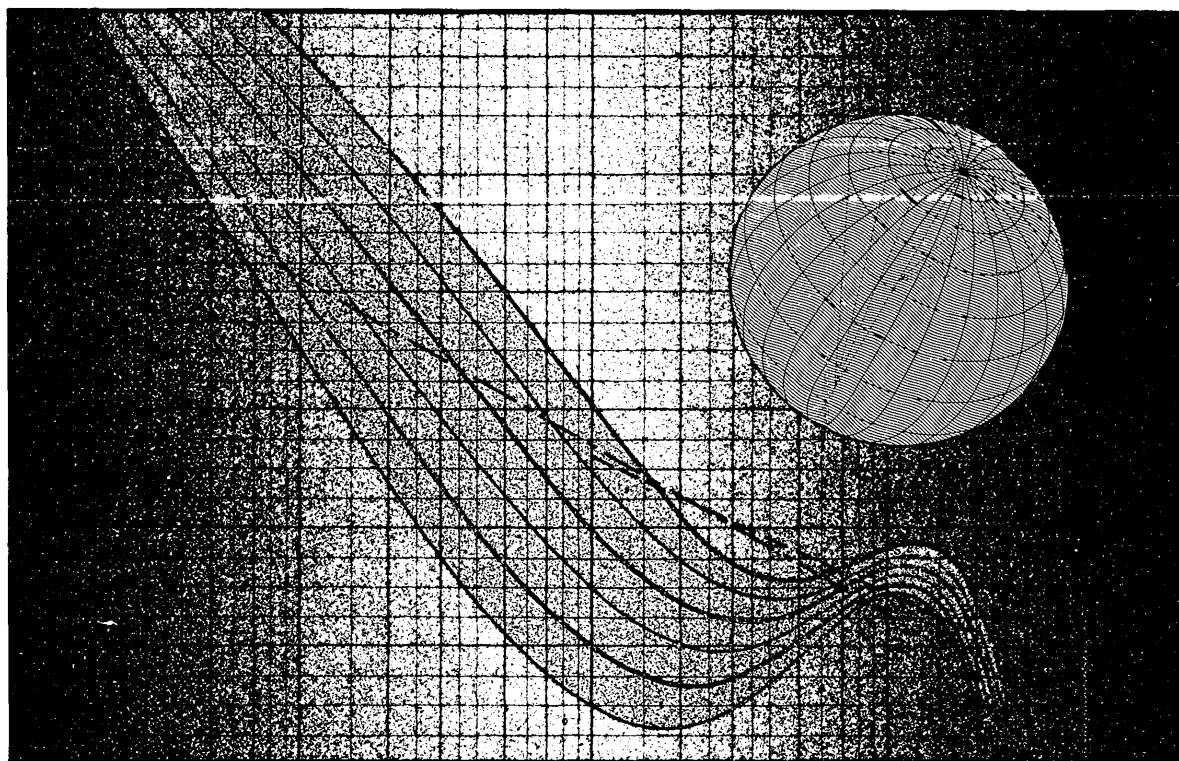
(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلًا.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL DES RADIOCOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL RADIO CONSULTATIVE COMMITTEE
COMITÉ CONSULTIVO INTERNACIONAL DE RADIOCOMUNICACIONES



CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT ATMOSPHÉRIQUE RADIOÉLECTRIQUE ET APPLICATIONS

CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS OF ATMOSPHERIC RADIO NOISE DATA

CARACTERÍSTICAS DEL RUIDO ATMOSFÉRICO RADIOELÉCTRICO Y APLICACIONES

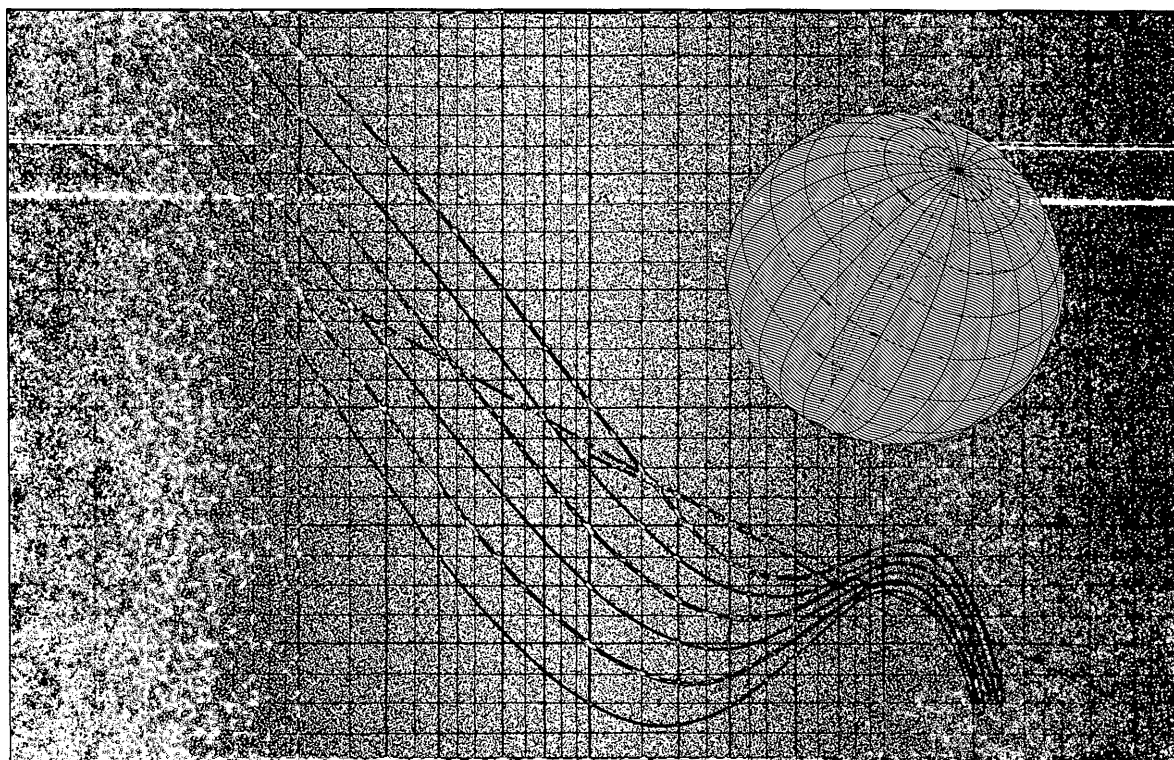


UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

Genève, 1988



COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL DES RADIOCOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL RADIO CONSULTATIVE COMMITTEE
COMITÉ CONSULTIVO INTERNACIONAL DE RADIOCOMUNICACIONES



CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT ATMOSPHÉRIQUE RADIOÉLECTRIQUE ET APPLICATIONS

CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS OF ATMOSPHERIC RADIO NOISE DATA

CARACTERÍSTICAS DEL RUIDO ATMOSFÉRICO RADIOELÉCTRICO Y APLICACIONES

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Liste des notations	3
1. Introduction	4
2. Evaluations du bruit radioélectrique	5
3. Définition des paramètres utilisés	5
4. Méthodes utilisées pour obtenir les évaluations	7
5. Données de bruit et estimation du bruit	8
6. Application des données de bruit à l'évaluation des systèmes	9
7. Influence de la directivité et de la polarisation des antennes	13

CONTENTS

	Page
List of symbols	15
1. Introduction	16
2. Radio noise estimates	17
3. Description of the parameters used	17
4. Methods used to obtain the estimates	19
5. The noise data or estimates	20
6. Application of noise data to system evaluation	21
7. The influence of the directivity and polarization of antennas	25

ÍNDICE

	Página
Notación	27
1. Introducción	28
2. Estimaciones del ruido radioeléctrico	29
3. Descripción de los parámetros utilizados	29
4. Métodos utilizados para obtener estimaciones	31
5. Los datos del ruido o estimaciones	32
6. Aplicación de los datos de ruido a la evaluación de un sistema	33
7. Influencia de la directividad y de la polarización de las antenas	37

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

RAPPORT 322-3 *

CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT ATMOSPHERIQUE
RADIOÉLECTRIQUE ET APPLICATIONS

(Programme d'études 29B/6)

(1963-1974-1982-1986)

LISTE DES NOTATIONS

Les lettres majuscules représentent les rapports, en décibels, des grandeurs désignées par les mêmes lettres minuscules.

A	Amplitude instantanée de l'enveloppe de bruit (dB)
A_{eff}	Valeur efficace de la tension d'enveloppe de bruit (dB)
b, B	Largeur de bande équivalente de bruit dans le récepteur (Hz) ($B = 10 \log b$)
D	Ecart d'une variable aléatoire par rapport à sa valeur médiane (dB)
D_l	Décile inférieur de la puissance de bruit moyenne dépassée pendant 90% des heures à l'intérieur d'une tranche de temps (dB au-dessous de la valeur médiane pour la tranche de temps)
D_R	Décile supérieur du rapport signal/bruit (valeur en dB dépassée pendant 10% du temps)
D_S	Décile supérieur de la puissance du signal reçu (valeur en dB dépassée pendant 10% du temps)
D_u	Décile supérieur, valeur de la puissance moyenne de bruit dépassée pendant 10% des heures à l'intérieur d'une tranche de temps (dB au-dessus de la valeur médiane pour la tranche de temps)
DPA	Distribution de probabilité d'amplitude de l'enveloppe de bruit reçu (probabilité de dépassement)
E_e	Valeur attendue du champ du signal requise pour une qualité de service donnée (dB(μ V/m))
E_n	Moyenne quadratique du champ de bruit pour une largeur de bande b (dB(μ V/m))
f	Facteur de bruit de fonctionnement d'un système de réception
F	Facteur de bruit de fonctionnement d'un système de réception ($F = 10 \log f$)
f_a	Facteur de bruit équivalent d'antenne résultant de la puissance de bruit externe disponible sur une antenne sans pertes
F_a	Facteur de bruit équivalent d'antenne ($F_a = 10 \log f_a$)
F_{am}	Valeur médiane des valeurs horaires de F_a à l'intérieur d'une tranche de temps
f_c	Facteur de bruit du circuit d'antenne (perte en puissance disponible)
f_{MHz}	Fréquence (MHz)
f_r	Facteur de bruit du récepteur
f_t	Facteur de bruit de la ligne de transmission (perte en puissance disponible)
k	Constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K
K	Température (Kelvin)
P	Puissance du signal reçu disponible sur une antenne équivalente sans pertes (dBW)
P_e	Valeur médiane prévue de P (dBW)
p_n, P_n	Puissance de bruit disponible sur une antenne équivalente sans pertes ($P_n = 10 \log p_n$)
p_s, P_s	Puissance du signal reçu nécessaire pour obtenir un rapport signal/bruit donné d'une antenne sans pertes ($P_s = 10 \log p_s$)
pdf	Fonction de densité de probabilité
r, R	Valeur requise du rapport signal/bruit ($R = 10 \log r$)
R_m	Valeur médiane de R
t	Ecart normalisé
T_a	Température équivalente de l'antenne en présence de bruit externe (K)
T_0	Température de référence = 288 K

* Cette nouvelle version du Rapport 322 a été adoptée par la XVI^e Assemblée plénière (Dubrovnik, 1986) en vue de faciliter les études qui doivent être poursuivies par la Commission d'études 6 (voir la Recommandation 372-4).

V_d	Ecart de tension; rapport (dB) de la tension efficace à la tension moyenne de l'enveloppe de bruit
V_{dm}	Valeur médiane de V_d dans une tranche de temps
σ_D	Ecart type de D
σ_{Dl}	Ecart type de D_l
σ_{Du}	Ecart type de D_u
σ_{DR}	Ecart type de D_R
$\sigma_{F_{am}}$	Ecart type de F_{am}
σ_P	Ecart type de la puissance attendue du signal reçu
σ_R	Ecart type de R
σ_T	Ecart type total; incertitude totale sur P_e
σ_{V_d}	Ecart type de V_d

1. Introduction

La détermination de la qualité de fonctionnement d'un système de radiocommunication et le niveau minimal du signal nécessaire pour une réception satisfaisante qui en résulte, reposent sur le traitement statistique adéquat à la fois du signal désiré et du bruit (et du brouillage) réel ambiant. La qualité de fonctionnement d'un système dépend étroitement des caractéristiques statistiques détaillées du signal et du bruit. Il est admis depuis longtemps que c'est le bruit radioélectrique qui constitue la limite ultime d'une liaison de communication correctement conçue.

Il existe plusieurs types de bruit à prendre en considération lors de toute conception de système mais, en règle générale, un type de bruit prédominera et c'est lui qui constituera le facteur décisif pour la conception. Le bruit peut être divisé en deux grandes catégories: le bruit interne au système de réception et le bruit externe à l'antenne de réception. Le bruit interne est causé par des pertes dans l'antenne et la ligne de transmission, ou est produit dans le récepteur lui-même, et il a les caractéristiques d'un bruit thermique (par exemple, bruit blanc gaussien). La puissance de bruit est généralement le paramètre le plus significatif (mais rarement suffisant); elle relie la potentialité de brouillage du bruit à la qualité de fonctionnement du système. Etant donné que le niveau de bruit résulte souvent de la combinaison du bruit externe et du bruit interne, il convient d'exprimer le bruit résultant sous forme d'un facteur de bruit global de fonctionnement qui caractérise la qualité de fonctionnement de l'ensemble du système de réception. Ce faisant, il est alors possible de décider quelle est la sensibilité requise du système de réception; il est, en effet, inutile que la sensibilité d'un récepteur soit supérieure à celle imposée par le bruit externe. Les niveaux de bruit minimaux mondiaux ont été évalués dans ce but (Rapport 670). De plus, les niveaux de bruit peuvent être comparés au niveau désiré du signal pour déterminer le rapport signal/bruit de prédétection. Le rapport signal/bruit de prédétection est un paramètre important de conception de système et il est toujours nécessaire de le connaître (nécessaire mais rarement suffisant) lorsque l'on détermine les effets du bruit externe sur la qualité de fonctionnement d'un système.

Le bruit externe peut être classé en plusieurs catégories, chacune ayant ses caractéristiques propres. Les types les plus courants sont le bruit atmosphérique, le bruit galactique et le bruit artificiel. Tous ces types de bruits sont étudiés dans le présent Rapport, mais étant donné que le bruit atmosphérique prédomine généralement aux fréquences inférieures à 30 MHz environ, l'étude portera plus spécialement sur ce type de bruit et sur ses effets dans la réception des signaux. A la différence du bruit interne, le bruit externe est généralement de nature tout à fait non gaussienne, habituellement de nature impulsive.

L'objet de ce Rapport est de donner des valeurs de la puissance du bruit ainsi que d'autres caractéristiques du bruit et de montrer, sur des exemples, comment on peut utiliser ces paramètres de bruit et leurs variations statistiques pour évaluer la qualité de fonctionnement d'un circuit radioélectrique. Spaulding [1982] donne des exemples supplémentaires de l'utilisation des données de bruit faisant l'objet du présent Rapport, ainsi qu'un résumé des effets des bruits atmosphériques (et de formes similaires de bruit impulsif) sur la qualité de fonctionnement des systèmes de télécommunication. Des résultats récents concernant le bruit atmosphérique engendré par les éclairs et les moyens de mettre au point des systèmes de communication appropriés pouvant fonctionner en présence de ce type de bruit sont résumés par l'URSI [1981] ainsi que dans le Rapport 254 et les références qu'il contient. Enfin les Rapports 258 et 670 donnent des renseignements supplémentaires sur le bruit atmosphérique et artificiel, et la Recommandation 339 indique les rapports signal/densité de puissance de bruit requis pour divers systèmes fonctionnant en présence de bruit atmosphérique.

Les évaluations des niveaux de bruit atmosphérique données dans le présent Rapport correspondent à un niveau de bruit de fond moyen engendré par les éclairs en l'absence d'autres signaux, rayonnés intentionnellement ou non. De plus, le bruit provenant des orages locaux peut être important pendant un pourcentage significatif du temps. Ce bruit local peut aussi être important aux fréquences bien supérieures à 30 MHz. On trouvera des renseignements concernant le bruit engendré par les orages locaux dans les articles de Hagn et Shepherd [1984], Kotaki et Katoh [1983] et Kotaki [1984].

2. Evaluations du bruit radioélectrique

Le présent Rapport donne:

- des évaluations qui tiennent compte de programmes importants et fiables de mesures de bruit,
- des informations statistiques sur la précision des évaluations,
- une description statistique de la structure fine du bruit,
- des exemples d'utilisation de ces évaluations pour déterminer la qualité de fonctionnement des systèmes.

Les données utilisées ont été fournies par les 16 stations qui utilisaient un matériel d'enregistrement normalisé, l'enregistreur de bruit radioélectrique ARN-2, et qui ont été exploitées par plusieurs organisations dans le cadre d'un programme de coopération internationale [URSI, 1962], par une station de mesure en Thaïlande qui était équipée d'un matériel équivalant à l'ARN-2 et par 10 stations de mesure soviétiques. Les emplacements de ces stations figurent sur la Fig. 1. Les données utilisées dans l'analyse couvrent la période 1957 à 1966. Toutes les stations n'ont pas fourni des données pour la période complète. Les données provenant de l'hémisphère Sud sont rares. Des précisions sur cette base de données qui constitue une longue série de mesures de bruit atmosphérique radioélectrique, et sur l'analyse de ces données ont été fournies par Spaulding et Washburn [1985].

Pour ces prévisions, on a groupé les données recueillies pendant chacune des quatre saisons de l'année et pendant 6 périodes de 4 h prises dans la journée, à chaque saison. On a appelé «tranche de temps» l'ensemble des mêmes périodes de 4 h de la journée pendant toute une saison. Il y a ainsi 24 tranches de temps dans une année, chacune étant formée de 360 h environ (4 h par jour pendant environ 90 jours).

La division de l'année en quatre saisons de trois mois chacune a été effectuée de la manière suivante, bien qu'on se soit rendu compte que les variations saisonnières du bruit dans les régions tempérées n'étaient pas forcément les mêmes qu'à des latitudes plus basses:

Mois	Saison	
	<i>Hémisphère Nord</i>	<i>Hémisphère Sud</i>
Décembre, janvier, février	Hiver	Été
Mars, avril, mai	Printemps	Automne
Juin, juillet, août	Été	Hiver
Septembre, octobre, novembre	Automne	Printemps

La principale grandeur présentée est la valeur horaire médiane de la puissance moyenne de bruit pour chaque tranche de temps et les variations de cette grandeur indiquent les variations systématiques, diurnes et saisonnières du bruit. Les variations des valeurs horaires à l'intérieur de chaque tranche de temps ont fait l'objet d'un traitement statistique.

Pour faciliter l'utilisation des données de bruit figurant dans le présent Rapport, le Secrétariat du CCIR dispose de programmes informatiques qui fournissent une représentation numérique «exacte» de toutes les caractéristiques de bruit contenues dans le présent Rapport.

3. Définition des paramètres utilisés

Comme indiqué ci-dessus, le paramètre de bruit fondamental et le plus important est la puissance de bruit, bien que ce paramètre seul (ou n'importe quel paramètre unique) ne soit presque jamais suffisant pour déterminer les effets du bruit sur la qualité de fonctionnement des systèmes. Il convient donc d'exprimer le bruit externe sous une forme qui permette de le combiner avec le bruit interne, pour obtenir ainsi un seuil de bruit global de fonctionnement pour un système de réception. Le Rapport 670 expose de façon détaillée la manière d'obtenir ce seuil de bruit.

La puissance de bruit reçue en provenance de sources extérieures à l'antenne peut s'exprimer en fonction d'un facteur de bruit d'antenne équivalent, f_a , défini par la relation:

$$f_a = p_n / kT_0 b = T_a / T_0 \quad (1)$$

où:

p_n : puissance de bruit disponible sur une antenne équivalente sans pertes (W)

k : constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

T_0 : température de référence = 288 K

b : largeur de bande équivalente de bruit dans le récepteur (Hz)

T_a : température équivalente de l'antenne en présence de bruit externe.

L'équation (1) illustre deux méthodes équivalentes pour spécifier la puissance de bruit, soit par le facteur de bruit équivalent, soit par la température de bruit équivalente de l'antenne. La valeur de T_0 a été prise égale à 288 K de sorte que la quantité $10 \log kT_0$ est égale à 204 dB au-dessous de 1 J.

Etant donné que le bruit atmosphérique est un phénomène ayant un spectre à large bande, f_a et T_a sont tous deux indépendants de la largeur de bande (pour des largeurs de bande normales pour les communications). Notons que f_a est une quantité sans dimension car c'est le rapport de deux puissances (ou, ce qui revient au même, de deux températures). Toutefois la quantité f_a donne, numériquement, la densité spectrale de puissance disponible en fonction de kT_0 , ou bien la puissance disponible en fonction de $kT_0 b$. Le facteur de bruit f_a est habituellement donné par son expression en dB, c'est-à-dire $F_a = 10 \log f_a$.

Dans le présent Rapport, le facteur de bruit d'antenne, F_a , exprimé en décibels, s'applique à une antenne verticale courte sans pertes au-dessus d'un sol parfaitement conducteur. Les moyens d'obtenir, à partir des données du présent Rapport, le facteur de bruit d'antenne approprié, pour d'autres types d'antennes, sont exposés dans le Rapport 670 et les références qu'il contient et dans les articles de Hagn et Shepherd [1984] et de Lauber et Bertrand [1977]. Il existe une relation simple entre F_a et la valeur quadratique moyenne de la composante verticale du champ (pour une antenne verticale courte):

$$E_n = F_a - 95,5 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 10 \log b \quad (2)$$

où:

E_n : moyenne quadratique du champ de bruit (dB(μ V/m)) pour une largeur de bande b (Hz)

F_a : facteur de bruit pour la fréquence centrale f_{MHz} (MHz).

Le bruit atmosphérique est caractérisé par des fluctuations importantes et rapides mais si on calcule la moyenne de la puissance de bruit sur plusieurs minutes, on constate que cette moyenne est presque constante pendant une heure donnée, ses variations dépassant rarement ± 2 dB si ce n'est vers le lever ou le coucher du Soleil, ou lorsqu'il y a des orages locaux. L'enregistreur de bruit radioélectrique ARN-2 a donné, pour chacune des huit fréquences, les valeurs de la puissance moyenne de bruit pendant 15 min chaque heure, et on admet que les valeurs de F_a ainsi obtenues, et qui sont utilisées dans cette analyse, sont représentatives des valeurs horaires. Des hypothèses analogues ont été faites pour obtenir les valeurs horaires F_a à partir des autres mesures (pas effectuées avec l'enregistreur ARN-2) utilisées dans l'analyse.

Pour faire une estimation du niveau de bruit prévisible, on tient compte explicitement des tendances systématiques, c'est-à-dire des variations en fonction de l'heure de la journée, de la saison, de la fréquence et de l'emplacement géographique. Il existe aussi d'autres variations dont il faut tenir compte statistiquement. La valeur de F_a pour une heure donnée de la journée varie d'un jour à l'autre par suite des variations aléatoires de l'activité orageuse et des conditions de propagation. La médiane des valeurs horaires à l'intérieur d'une tranche de temps (médiane pour la tranche de temps) est appelée F_{am} . Les variations des valeurs horaires à l'intérieur d'une tranche de temps peuvent être représentées par les valeurs dépassées pendant 10% et 90% des heures, exprimées sous forme d'écarts D_u et D_l par rapport à la médiane pour la tranche de temps. Tracée sur un graphique de probabilité normale (niveaux en dB), la distribution d'amplitude des écarts D , au-dessus de la médiane peut être représentée avec une précision raisonnable par une ligne droite passant par la valeur médiane et le décile supérieur; pour représenter les valeurs en dessous de la médiane, on peut utiliser une droite semblable passant par la valeur médiane et le décile inférieur.

Il est naturel de s'attendre à une certaine corrélation entre le bruit atmosphérique radioélectrique et l'activité solaire puisque les conditions de propagation et l'activité orageuse paraissent subir l'influence de l'activité solaire. Certaines mesures à très basse fréquence, effectuées il y a de nombreuses années, semblent montrer une telle corrélation [Austin, 1932]. Un examen approfondi des données de Boulder, Colorado (1957-1966) n'a mis en évidence aucune variation systématique du bruit avec l'activité solaire.

Nous avons considéré jusqu'ici la puissance moyenne représentée par F_a (ou T_a) comme la façon la plus utile et la plus courante de représenter le niveau de bruit externe. Lorsque l'on veut déterminer les effets du bruit externe sur la qualité de fonctionnement d'un système, on a presque toujours besoin d'avoir une information plus complète, en ce qui concerne le bruit reçu, que celle fournie par son contenu en énergie seul (niveau); à moins que le bruit externe ne soit un bruit blanc gaussien, ce qui n'est pratiquement jamais le cas. Le bruit atmosphérique (comme le bruit artificiel) est un phénomène aléatoire. Avoir affaire à un processus aléatoire signifie que le bruit ne peut être décrit qu'en termes probabilistes ou statistiques et ne peut pas être représenté par une forme d'onde ou par un quelconque ensemble d'ondes déterministes.

La description fondamentale de tout processus aléatoire est sa fonction de densité de probabilité (pdf) ou fonction de distribution. Pour déterminer la qualité de fonctionnement d'un système, on a presque toujours besoin de la fonction de densité de probabilité du premier ordre du brouillage reçu (bien qu'elle ne soit pas toujours suffisante). Le bruit atmosphérique que nous considérons ici est un phénomène de bande passante en ceci qu'il peut être décrit par une enveloppe et une phase. Etant donné que la phase est connue (phase uniformément distribuée), la fonction de densité de probabilité de l'amplitude instantanée peut être obtenue à partir de la fonction de densité de probabilité d'amplitude de l'enveloppe. En général, on peut utiliser directement la fonction de densité de probabilité de l'enveloppe dans l'analyse de la qualité de fonctionnement des systèmes. L'enveloppe de bruit atmosphérique est habituellement donnée (et mesurée) sous forme d'une distribution cumulative de dépassement, appelée «distribution de probabilité des amplitudes», ou DPA. Pour un niveau donné d'enveloppe, A_i , la DPA est la fraction de la durée totale de la mesure, T , pendant laquelle l'enveloppe était au-dessus du niveau A_i .

Dans plusieurs pays, on a mesuré un grand nombre de DPA et on a obtenu des résultats assez concordants [URSI, 1962; Clarke, 1962; Science Council of Japan, 1960; voir aussi URSI, 1975, 1978, 1981, 1984 et les Références bibliographiques]. Pour présenter ces données sous une forme exploitable, il est commode de construire une famille de courbes idéales, et d'en choisir une pour présenter une DPA dans la pratique avec une précision suffisante. C'est ce qui a été fait en utilisant un système de coordonnées dans lequel une distribution de Rayleigh (représentant l'enveloppe d'un bruit de type thermique) est représentée par une droite de pente $-0,5$. Les parties d'une courbe de bruit atmosphérique correspondant aux faibles amplitudes ont précisément cette pente et les parties correspondant aux grandes amplitudes sont représentées par une deuxième droite, à plus grande pente, les deux droites étant reliées par un arc de cercle. La construction de ces courbes fait intervenir des grandeurs liées à la valeur quadratique moyenne et à la valeur logarithmique moyenne de la distribution, c'est-à-dire aux paramètres enregistrés dans le cadre des mesures de bruit systématique [Crichlow et autres, 1960a, 1960b]. La tension moyenne et la tension logarithmique moyenne étant en étroite corrélation, le rapport de la tension efficace à la tension moyenne, $V_d(B)$, suffit, en pratique, pour caractériser la courbe que l'on peut utiliser pour représenter la distribution [Spaulding et autres, 1962]. La Fig. 27 présente un jeu de courbes DPA qui donnent la probabilité ($\times 100$) pour qu'un niveau d'enveloppe A_0 (donné par rapport au niveau efficace d'enveloppe A_{eff}) soit dépassé. La Fig. 27 représente un «modèle» de DPA paramétrées en fonction du paramètre V_d . De nombreux autres modèles statistiques du bruit atmosphérique ont été mis au point et un résumé historique des principaux modèles et de leurs relations mutuelles a été présenté par Spaulding [1977, 1982] et par Shaver et autres [1972]. On trouvera la représentation numérique (coefficients et programmes informatiques) du modèle DPA du présent Rapport dans la publication de Spaulding et Washburn [1985]. On notera que la puissance réelle du bruit est la moitié de la puissance de l'enveloppe (exprimée par A_{eff}).

On peut utiliser les courbes DPA (Fig. 27) pour une large gamme de largeurs de bande. Toutefois, les estimations de V_d données dans le présent Rapport ont été établies pour une largeur de bande de 200 Hz, de sorte qu'une conversion de $V_d(200 \text{ Hz})$ pour d'autres largeurs de bande s'avère nécessaire. Herman et De Angelis [1987] ont effectué une étude approfondie de la relation entre V_d et la largeur de bande. La Fig. 26 présente les résultats de cette étude et fournit un moyen de convertir la valeur de V_d pour 200 Hz en valeur correspondante pour d'autres largeurs de bande. Les résultats présentés sur la Fig. 26 ne sont rigoureusement valables que pour la bande des ondes hectométriques, bien que certains résultats récents indiquent qu'ils le sont aussi dans la bande des ondes décamétriques. On n'appliquera donc ces résultats à des fréquences plus basses (c'est-à-dire ondes myriamétriques et plus longues) qu'avec beaucoup de précautions.

4. Méthodes utilisées pour obtenir les évaluations

Les valeurs de F_a fournies par les stations de mesure mentionnées précédemment ont été préparées pour supprimer, dans la mesure du possible, les effets dus au bruit artificiel et aux signaux brouilleurs. Les valeurs restantes étaient considérées comme représentant le bruit atmosphérique radioélectrique réel. Les valeurs médianes pour chaque tranche de temps et à 1 MHz ont été comparées à celles du Rapport 322-2 et on en a déduit les corrections nécessaires. La procédure à suivre pour obtenir les valeurs pour 1 MHz à partir de l'ensemble des mesures effectuées à toutes les fréquences ainsi que les procédures d'interpolation numérique et de cartographie appliquées pour obtenir les valeurs mondiales de F_{am} pour 1 MHz, pour chaque tranche de temps sont exposées en détail par Spaulding et Washburn [1985].

Seules les données mesurées par les stations équipées de l'enregistreur ARN-2 ont été utilisées pour obtenir la variation de F_{am} en fonction de la fréquence (c'est-à-dire pour les fréquences autres que 1 MHz). Une analyse de ces données n'a pas mis en évidence de différence significative par rapport aux variations avec la fréquence figurant dans le Rapport 322-2. Ceci est vrai également pour les écarts D_u et D_l du décile de F_a par rapport à la valeur médiane F_{am} , pour chaque tranche de temps et aussi pour la valeur médiane V_{dm} de l'écart de tension V_d .

Pour obtenir une mesure de la variabilité du bruit par rapport aux valeurs prévues pour chaque tranche de temps, on a établi les écarts types de F_{am} , D_u , D_l et V_d en fonction de la fréquence.

5. Données de bruit et estimation du bruit

Les Fig. 2a à 25a présentent des cartes mondiales indiquant les valeurs médianes attendues du bruit de fond atmosphérique radioélectrique, F_{am} en dB au-dessus de kT_0b , à la fréquence de 1 MHz, pour chaque saison, pour chaque tranche de 4 h, en temps local. La seule variation géographique indiquée concerne F_{am} à 1 MHz. La variation de F_{am} en fonction de la fréquence pour chaque période saisonnière est indiquée aux Fig. 2b à 25b et la variation en fonction de la fréquence des autres paramètres de bruit est donnée dans les Fig. 2c à 25c.

Des niveaux de bruit galactique, d'après les observations de Cottony et Johler [1952], vérifiés en utilisant une antenne verticale sont indiqués sur les courbes de fréquence (Fig. 2b à 25b). Compte tenu d'une variation dans le temps de ± 2 dB (l'effet d'écran ionosphérique étant négligé), ces valeurs constituent la limite supérieure du bruit galactique mais, dans chaque cas particulier, il convient de déterminer le bruit reçu en considérant les fréquences critiques et les propriétés de directivité de l'antenne.

En de nombreux emplacements et à certaines fréquences, le bruit artificiel constitue le facteur limitatif des radiocommunications, au moins pendant une partie du temps. Quoique ce type de bruit dépende des conditions locales, on a ajouté une courbe des valeurs auxquelles on peut s'attendre en un point de réception calme. Les valeurs représentées sur cette courbe correspondent aux valeurs «moyennes» du bruit artificiel mesurées en des endroits choisis de façon à obtenir un bruit artificiel minimal (stations ARN-2). On trouvera dans le Rapport 258 les niveaux de bruit artificiel, en termes de F_a , ainsi que leurs variations pour diverses catégories d'environnement (commercial, résidentiel, rural, rural calme, etc.). Les niveaux de bruit indiqués dans le Rapport 258 pour des emplacements ruraux calmes sont tirés du présent Rapport. Des renseignements complémentaires concernant le bruit artificiel sont donnés sous forme résumée par Hagn [1982], Skomal [1978] et l'URSI [1975, 1978, 1981 et 1984].

On remarquera que l'on a indiqué des valeurs de bruit atmosphérique inférieures aux niveaux attendus du bruit artificiel et du bruit galactique. Ces valeurs ne devraient être utilisées qu'avec prudence car elles ne représentent que des évaluations du bruit atmosphérique qui serait enregistré en l'absence d'autres bruits. Un examen des données montre cependant que de tels niveaux bas ont été effectivement mesurés, en de rares occasions.

On a indiqué sur les Fig. 2c à 25c les valeurs estimées de D_u , D_l , V_{dm} , σ_{D_u} , σ_{D_l} , σ_{V_d} et $\sigma_{F_{am}}$. On utilisera, en général, D_u pour évaluer les intensités minimales requises du signal, mais on peut avoir besoin de D_l pour déterminer si le bruit interne d'un système de réception est négligeable dans des conditions où le bruit externe est minimal.

La variation de F_{am} en fonction de la fréquence (Fig. 2b à 25b) est donnée par une cartographie numérique en moindres carrés de la totalité des données ARN-2 pour toutes les fréquences de mesure [Spaulding et Washburn, 1985]. Le paramètre $\sigma_{F_{am}}$ représente, en fonction de la fréquence, les variations de données F_{am} par rapport aux valeurs «cartographiées» (ou estimées). Les courbes de $\sigma_{F_{am}}$ ne vont que jusqu'à 10 MHz car, aux fréquences plus élevées, le bruit qui prédominait dans la plupart des stations de mesure était souvent d'origine galactique.

À l'origine, des courbes séparées ont été tracées pour D_u , D_l , σ_{D_u} et σ_{D_l} à partir de données recueillies dans des stations situées dans des zones tempérées ou tropicales. On n'a constaté statistiquement aucune différence significative entre les deux zones; le présent Rapport donne donc une courbe unique pour la surface entière de la Terre. Ces courbes devraient être utilisées avec une certaine prudence, notamment aux fréquences les plus élevées.

Les courbes de distribution de probabilité d'amplitude (DPA) correspondant à différentes valeurs de V_d sont représentées sur la Fig. 27, sur laquelle la valeur efficace de la tension d'enveloppe de bruit, A_{eff} , est prise comme référence. Les valeurs mesurées de V_d varient par rapport à la valeur médiane prévue, V_{dm} , et leur variation est donnée par σ_{V_d} . Les estimations de V_d données le sont pour une largeur de bande de 200 Hz. La valeur correspondante de V_{dm} pour une autre largeur de bande peut être tirée de la Fig. 26. Comme indiqué précédemment, la conversion pour la largeur de bande doit être utilisée avec prudence aux fréquences les plus basses (ondes myriamétriques et plus longues).

Les figures sont utilisées de la manière suivante. La valeur de F_{am} pour 1 MHz est obtenue sur les cartes de bruit (Fig. 2a à 25a) pour la saison considérée. Cette valeur étant prise pour spécifier le niveau de bruit, on obtient la valeur de F_{am} pour la fréquence voulue à partir des courbes de fréquences (Fig. 2b à 25b). Les paramètres de variabilité $\sigma_{F_{am}}$, D_u , σ_{D_u} , etc., sont obtenus, pour la fréquence voulue, à partir des Fig. 2c à 25c. Si l'on a besoin de connaître la valeur de D ($= F_a - F_m$) ou celle de σ_D pour un pourcentage de temps (inférieur à 50%) autre

que 10%, on représente graphiquement D_u et σ_{D_u} sur un diagramme de probabilité normale (les valeurs des ordonnées étant exprimées en dB) et on trace des droites passant par la valeur 0 dB à 50% et les valeurs à 10%, comme indiqué sur la Fig. 28. Ceci signifie que la puissance de bruit a une distribution log-normale (au-dessus de 50%). On procède de la même façon pour des pourcentages supérieurs à 50%, mais en prenant D_l et σ_{D_l} .

6. Application des données de bruit à l'évaluation des systèmes

On ne prétend pas traiter ici le problème de façon exhaustive, mais on a cependant estimé souhaitable de donner un aperçu de la manière dont les données peuvent être utilisées pour l'étude de la qualité de fonctionnement d'un système de télécommunications. Des exemples et des renseignements supplémentaires sont donnés par Spaulding [1982], l'URSI [1975, 1978, 1981, 1984] et les ouvrages cités en référence.

Comme indiqué précédemment, il est souhaitable d'exprimer le bruit externe sous forme d'un facteur de bruit d'antenne, de sorte qu'il puisse être combiné avec le bruit engendré dans le système de réception pour donner un facteur de bruit de fonctionnement global, f (Rapport 670) [Barsis et autres, 1961]. Si le récepteur est exempt de réponses parasites et si tous les éléments qui le précèdent sont à la température de référence T_0 , f est donné par

$$f = f_a - 1 + f_c f_l f_r \quad (3)$$

où:

f_c : facteur de bruit de l'antenne (perte en puissance disponible)

f_l : facteur de bruit de la ligne de transmission (perte en puissance disponible)

f_r : facteur de bruit du récepteur ($10 \log f_r$ est la valeur habituelle du bruit du récepteur).

Le facteur de bruit de fonctionnement f est utile pour déterminer la relation entre la puissance du signal p_s fournie par une antenne sans pertes et le rapport signal/bruit correspondant r à la sortie FI du récepteur, étant donné que

$$p_s = f r k T_0 b \quad (4)$$

ou

$$P_s = R + F + B - 204 \quad (5)$$

où:

$$F = 10 \log f$$

$$B = 10 \log b, \text{ etc.}$$

Pour déterminer la valeur du bruit de fonctionnement F utilisée dans l'équation (5), il faut faire intervenir tous les paramètres de l'équation (3). Toutefois, dans de nombreux cas, il y aura une source de bruit prépondérante et seul l'un des facteurs de bruit composants sera important. Aux fréquences basses, on peut souvent utiliser un système de réception ayant des caractéristiques de bruit interne médiocres car les valeurs de f_a sont grandes et déterminent la valeur de f . En général, la valeur de F_a diminue lorsque la fréquence augmente et, aux fréquences les plus élevées, le rendement de l'antenne tend à augmenter et la valeur de f_c approche de l'unité. Dans ces conditions, f_l et/ou f_r peuvent prendre de l'importance dans la détermination de f (Rapport 670).

On utilise la relation (5) pour obtenir la puissance moyenne de signal requise à partir du rapport signal/bruit requis R (dB). Le rapport R requis dépend toujours des caractéristiques statistiques détaillées à la fois du bruit et du signal. Pour le bruit, la distribution de probabilité d'amplitude (DPA) (ou des données qui en sont déduites) constitue presque toujours l'information nécessaire (mais parfois pas suffisante). C'est pourquoi, puisque la qualité de fonctionnement d'un système implique une prévision (statistique) et que de telles prévisions sont sujettes à erreurs, il est habituel de définir la qualité de fonctionnement d'un système en fonction de trois composantes indépendantes: la qualité de service, la durée de service satisfaisant et la probabilité de service [Barsis et autres, 1961; Spaulding, 1982].

6.1 La *qualité de service* représente la qualité de fonctionnement moyenne pour un bruit et un signal stationnaires. Des exemples typiques sont la probabilité d'erreur de symbole en fonction du rapport signal/bruit pour des systèmes numériques, l'indice d'articulation en fonction du rapport signal/bruit pour des systèmes de communication vocale, etc.

6.2 La *durée de service satisfaisant* est le pourcentage de temps pendant lequel une qualité de service donnée est atteinte ou dépassée.

6.3 La *probabilité de service* est la probabilité pour qu'une qualité de service donnée soit atteinte ou dépassée pour une durée de service satisfaisant spécifiée. C'est le facteur de confiance statistique requis pour toute description statistique.

Après avoir spécifié la qualité désirée de fonctionnement d'un système, il faut évaluer les divers facteurs qui affectent cette qualité de fonctionnement. Pour plus de clarté et pour simplifier, la qualité de fonctionnement sera, dans les deux exemples qui vont suivre, évaluée en fonction des caractéristiques des puissances du signal et du bruit aux bornes de l'antenne de réception équivalente sans pertes. Dans ces deux exemples, on a admis que l'antenne était une tige verticale courte et que le bruit prépondérant était externe au système et d'origine atmosphérique. Dans le premier exemple, on a supposé que la propagation se fait par l'onde de sol, de sorte que le niveau du signal est constant et que seul le niveau de bruit varie. Le second exemple fait intervenir la propagation ionosphérique; le bruit et le signal varient tous deux en fonction du temps. Dans les deux exemples, la variation de la puissance du bruit est log-normale (c'est-à-dire que les valeurs en dB sont normalement distribuées); la puissance du signal est aussi log-normale (mais constante, de variance nulle dans le premier exemple); il en résulte donc que le rapport signal/bruit r est aussi log-normal. Cela signifie que l'on peut appliquer les procédures normalisées (fondées sur la distribution normale) pour déterminer les facteurs de confiance statistiques (probabilité de service). La détermination de la probabilité de service fait intervenir non seulement les incertitudes liées aux paramètres de bruit, mais aussi celles de toutes les valeurs entrant en jeu dans la méthode de prévision.

6.4 Exemple I

Déterminer les caractéristiques d'un système binaire, symétrique et non cohérent à modulation par déplacement de fréquence (MDF), dont le point de réception se trouve à Genève, Suisse, dans les conditions suivantes:

Fréquence:	50 kHz
Heures de réception:	2000-2400 heure locale
Saison:	été
Largeur de bande:	100 Hz
Propagation:	onde de sol (donnant un signal constant à la réception)
Qualité de service:	probabilité d'erreur sur les bits de 5×10^{-4} correspondant approximativement à un taux d'erreur de 1% sur les caractères de téléimprimeur, en télégraphie arithmique à cinq moments.

Il s'agit d'évaluer la probabilité pour que la puissance donnée d'un signal reçu satisfasse à la qualité de service spécifiée pour un pourcentage de temps donné.

La valeur prévisible (valeur moyenne) de la puissance reçue, P_e , requise pour obtenir une certaine qualité de service avec un facteur de bruit externe donné F_a est, d'après l'équation (5), donnée par:

$$P_e = F_a + R + B - 204 \quad \text{dBW} \quad (6)$$

où R est le rapport signal/bruit (dB) requis avant détection pour la largeur de bande donnée.

Lorsque l'antenne de réception est une tige verticale courte au-dessus d'un sol plan, le champ correspondant E_e est donné par:

$$E_e = P_e + 20 \log f_{\text{MHz}} + 108,5 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (7)$$

La première étape est de déterminer le rapport R requis et sa variation. D'après Montgomery [1954], nous avons les résultats suivants pour tout bruit additionnel arbitraire, indépendant d'une période d'intégration (durée d'un bit) à la suivante et dont la phase a une distribution normale. Pour le système binaire symétrique, et non cohérent à MDF, la probabilité pour un bit d'être erroné est donnée par la moitié de la probabilité pour que l'enveloppe de bruit dépasse l'enveloppe du signal. On peut donc déduire directement de la DPA (Fig. 27) le rapport signal/bruit requis pour la valeur appropriée de V_d . D'après la Fig. 19c, la valeur de $V_{dm}(200 \text{ Hz})$ à 50 kHz est de 8,5 dB et celle de σ_{V_d} est 1,2 dB. D'après la Fig. 26, la valeur de $V_d(100 \text{ Hz})$ est comprise entre 6,6 et 8,9 dB (d'après la valeur de $V_d(200 \text{ Hz})$ comprise entre 7,3 et 9,7 dB) avec la valeur $V_{dm}(100 \text{ Hz})$ égale à 7,7 dB. Les DPA peuvent être utilisées directement pour déterminer le rapport signal/bruit médian requis et sa variation. Akima et autres [1969] ont d'ailleurs donné la probabilité d'erreur sur les bits en fonction des caractéristiques signal/bruit pour diverses valeurs de V_d , en utilisant les DPA de la Fig. 27 du présent Rapport. La valeur R requise pour que V_d soit égal à 7,7 est 20,3 dB avec une variation d'environ 0,8 dB, fondée sur la variation prévue de V_d indiquée ci-dessus, c'est-à-dire $\sigma_R = 0,8 \text{ dB}$. On notera que [Akima et autres, 1969], si le signal était un évanouissement de Rayleigh, le R requis serait de 28 dB et σ_R serait de 0 dB puisque la probabilité d'erreur est indépendante de V_d pour les faibles probabilités d'erreur. Ceci n'est pas vrai pour d'autres formes d'évanouissements (par exemple, log-normale) ou bien si on utilise une réception en diversité. Dans ces cas, la probabilité d'erreur dépend tout à fait de la DPA, c'est-à-dire de V_d .

Il faut ensuite déduire F_a de la valeur médiane F_{am} et ajouter un écart D compatible avec le pourcentage de temps pendant lequel on doit obtenir une qualité de service satisfaisante (durée de service satisfaisant). D'après la Fig. 19a, la valeur à 1 MHz est 74 dB et la valeur de F_{am} à 50 kHz est 133 dB avec un écart type $\sigma_{F_{am}}$ de 3,4 dB (Fig. 19b, 19c). Pour obtenir des valeurs de F_a pour des pourcentages de temps autres que 50% (donné par F_{am}), on utilise D_u (6,4 dB d'après la Fig. 19c) pour obtenir $D = F_a - F_{am}$, comme indiqué sur la Fig. 28. De la même façon, on obtient σ_D en utilisant σ_{D_u} (1,9 dB d'après la Fig. 19c), comme le montre aussi la Fig. 28.

On évalue ensuite l'équation (6) (avec $F_a = F_{am} + D$) en utilisant la valeur de D qui convient pour la durée de service satisfaisant requise. On tire alors de l'équation (6), avec $R = 20,3$ dB, $F_{am} = 133$ dB et $B = 20$ dB:

$$P_e = D - 30,7 \quad \text{dBW} \quad (8)$$

C'est le procédé habituel de prévision de la puissance requise (ou du champ requis à partir de l'équation (7)) pour obtenir la qualité de service spécifiée pour différentes durées de service satisfaisant. La puissance de signal requise pour différentes durées de service satisfaisant est donnée par la Fig. 29. Cependant, comme on n'a pas encore tenu compte des incertitudes de la prévision, la moitié des circuits considérés seulement satisfera aux critères de conception.

Les incertitudes à considérer sont représentées par les écarts types suivants:

σ_P : erreur type sur la valeur «constante» attendue de la puissance du signal reçu. Cette quantité doit être déduite de diverses données, relatives en particulier à la propagation; dans cet exemple, on supposera qu'elle est égale à 2 dB.

σ_R : incertitude sur le rapport signal/bruit requis, 0,8 dB comme obtenu ci-dessus

$\sigma_{F_{am}} = 3,4$ dB (d'après la Fig. 19c)

σ_D : écart type de D (d'après la Fig. 28).

Le facteur d'incertitude total σ_T est donné, dans l'hypothèse où il n'y a aucune corrélation entre les erreurs, par:

$$\sigma_T^2 = \sigma_P^2 + \sigma_R^2 + \sigma_{F_{am}}^2 + \sigma_D^2 \quad (9)$$

Le facteur σ_T est, lui aussi, représenté graphiquement sur la Fig. 29 et il permet de déterminer la probabilité de service (confiance) pour que soit atteinte la durée de service satisfaisant indiquée, comme exposé ci-après.

Etant donné que, comme on l'a déjà fait remarquer, seules sont impliquées des distributions log-normales, la durée de service satisfaisant, pour une valeur donnée de la puissance P , peut être déterminée en fonction de la probabilité de service par l'expression:

$$t = (P - P_e) / \sigma_T \quad (10)$$

où t est l'écart normalisé. La Fig. 30 donne les valeurs de t en fonction de la probabilité de service.

Si l'on exige seulement une probabilité de 0,5 (confiance 50%) pour que soit obtenue une valeur spécifiée de la durée de service satisfaisant, $t = 0$, $P = P_e$ et les puissances requises sont données par la Fig. 29. Supposons toutefois que nous voulions une confiance de 90% (probabilité de service de 0,9) pour que notre qualité de service (probabilité d'erreur sur les bits de 5×10^{-4}) soit atteinte ou dépassée pendant 90% du temps (ou plus), alors $t = 1,3$ (Fig. 30), $\sigma_T = 4,45$ dB (Fig. 29), $P_e = 24,3$ dBW (Fig. 29) de sorte que, selon l'équation (10), l'intensité de signal requise est de $-18,5$ dBW. Généralement, d'après les équations (8) et (10):

$$P = D - 30,7 + t \sigma_T \quad (11)$$

La Fig. 31 présente les résultats pour des probabilités de service de 0,5, 0,8, 0,9 et 0,99.

6.5 Exemple II

Soit à déterminer la qualité de fonctionnement d'un système téléphonique A3E à double bande latérale, dont la réception a lieu à Genève, Suisse, dans les conditions suivantes:

Fréquence:	5 MHz
Heures de réception:	2000-2400 heure locale
Saison:	été
Largeur de bande:	6 kHz
Propagation:	ionosphérique (donnant lieu à des évanouissements du signal)
Qualité de service:	tout juste commerciale.

Ici encore, il s'agit d'évaluer la probabilité pour que la puissance d'un signal reçu donné satisfasse à la qualité de service spécifiée ou mieux, pendant un pourcentage de temps quelconque. Dans le cas présent, le signal et le bruit atmosphérique ont tous deux une variation statistique. Pour une propagation ionosphérique, on considère habituellement que la distribution à court terme (disons pendant l'intervalle de 1 h) du signal est une distribution de Rayleigh et que l'évanouissement à long terme des valeurs médianes horaires est log-normal (Rapport 266). Dans cet exemple, la distribution normale résultante des valeurs médianes (dB) du signal a un écart type de 8 dB (Rapport 266), dont il résulte une valeur de décile supérieur pour le signal, D_s , de $1,27 \times 8 = 10$ dB. Nous fondant sur la variation indiquée dans le Rapport 266 pour l'écart type de la distribution de l'évanouissement à long terme du signal, nous utiliserons $\sigma_{D_s} = 2$ dB.

La Recommandation 339 donne une valeur médiane de 64 dB pour le rapport porteuse/bruit requis, dans une largeur de bande de 1 Hz, pour des émissions A3E de qualité tout juste commerciale. Ceci donne une valeur de 26 dB pour le rapport signal/bruit médian requis, R . Pour des systèmes analogiques, ces valeurs requises de la qualité de fonctionnement sont fondées sur un bruit blanc gaussien. En général, une intelligibilité donnée de la parole peut être atteinte avec un R plus petit dans un bruit impulsif (par exemple, atmosphérique) que dans un bruit blanc gaussien [Spaulding, 1982]. La Fig. 19c donne 4,5 dB comme valeur de V_{dm} à 5 MHz et pour une largeur de bande de 200 Hz. D'après la Fig. 26, ceci correspond à une valeur de 7,5 dB pour V_{dm} pour une largeur de bande de 6 kHz. Spaulding [1982] a fourni des résultats pour des systèmes de communication vocale à modulation d'amplitude en présence de bruit atmosphérique ($V_d = 12$ dB). Ces résultats indiquent que nous pouvons probablement, sans grand risque, réduire d'environ 6 dB la médiane R_m requise (au moins, en supposant qu'il n'y a aucune limitation due au bruit). Nous spécifierons donc une valeur de 20 dB pour la médiane requise R_m , avec $\sigma_R = 3$ dB.

Comme dans l'exemple I, la valeur de F_{am} à 1 MHz, pour Genève, pour juin, juillet et août et pour la tranche de temps 2000-2400 h est de 74 dB. D'après les Fig. 19b, 19c, la valeur F_{am} à 5 MHz est de 56 dB avec un écart type $\sigma_{F_{am}}$ de 4,1 dB. La Fig. 19c donne aussi $D_u = 4,8$ dB et $\sigma_{D_u} = 1,3$ dB. Puisque le rapport signal/bruit a une distribution log-normale, comme dans l'exemple I, nous procédons comme précédemment. Le décile supérieur pour R est donné par

$$D_R^2 = D_s^2 + D_u^2 \quad (12)$$

puisque le signal et le bruit sont indépendants. L'écart $D = R - R_m$ ($D_R = 11,1$ dB) et σ_D (en utilisant une valeur de décile donnée par $\sigma_{D_R} = \sqrt{\sigma_{D_u}^2 + \sigma_{D_s}^2} = 2,4$ dB) sont montrés sur la Fig. 32.

L'écart D rend maintenant compte de la variation statistique à long terme à la fois de la puissance du signal et de la puissance de bruit.

Pour obtenir la probabilité de service, les incertitudes dans les prévisions sont données par les écarts types suivants:

σ_P : écart type de la puissance attendue du signal reçu. Nous avons spécifié les distributions à court et à long terme de P , mais il reste une erreur de prévision pour la valeur attendue due, par exemple, aux erreurs dans la méthode utilisée pour la prévision de propagation. Nous prendrons σ_P égal à 5 dB.

σ_R : incertitude sur le rapport R , supposé égal à 3 dB, comme discuté précédemment

$\sigma_{F_{am}} = 4,1$ dB (d'après la Fig. 19c)

σ_D : écart type de D (Fig. 32), fonction de la durée de service satisfaisant requise.

L'écart type σ_T est indiqué sur la Fig. 33. Cette même Fig. 33 montre aussi la valeur médiane attendue de la puissance de signal reçue P_e , pour les différentes durées de service satisfaisant, obtenue à partir de l'équation (6):

$$P_e = F_{am} + R_m + D + B - 204$$

ou

$$P_e = D - 90,2 \quad \text{dBW} \quad (13)$$

Enfin, la Fig. 34 représente la puissance de signal requise en fonction de la durée de service satisfaisant, pour des probabilités de service de 0,5, 0,8, 0,9 et 0,99 en utilisant, comme dans l'exemple I,

$$P = P_e + t \sigma_T \quad (14)$$

7. Influence de la directivité et de la polarisation des antennes

Tous les renseignements sur le bruit, donnés dans le présent Rapport, y compris les exemples du paragraphe précédent, se rapportent à une antenne de réception verticale courte. Même si une telle antenne peut être utilisée en pratique aux basses fréquences, les radiocommunications à grande distance à ondes décamétriques utilisent des antennes à grand effet directif. On doit donc tenir compte des effets de la directivité et de la polarisation des antennes sur le rapport signal/bruit.

On suppose que l'on connaît suffisamment bien le gain pour le signal, quoiqu'il dépende de l'importance relative des différents modes de propagation, importance qui varie avec le temps. Le facteur de bruit équivalent de l'antenne, pour autant qu'il est déterminé par le bruit atmosphérique, peut être influencé de différentes manières. Si les sources de bruit avaient une répartition isotrope, le facteur de bruit ne dépendrait pas de la directivité. En pratique cependant, la direction horizontale du faisceau peut coïncider avec celle d'une région dans laquelle les orages sont fréquents, et le facteur de bruit se trouvera augmenté par rapport à celui d'une antenne omnidirectionnelle. Mais la situation inverse peut également se présenter. La directivité dans le plan vertical peut favoriser ou défavoriser la réception de bruit provenant d'une source intense. Le déplacement d'orages vers l'intérieur ou l'extérieur du faisceau peut accroître la variabilité du bruit, même si l'intensité moyenne reste inchangée.

Les données expérimentales sur les effets de la directivité sont rares et, sous certains aspects, contradictoires. Dans une région équatoriale (Singapour), on a trouvé qu'avec certaines antennes directives, la valeur médiane F_a était un peu supérieure (d'environ 4 dB en moyenne) à ce qu'elle était pour une antenne verticale courte pendant la même période [Bradley et Clarke, 1964]. Cette valeur est nettement inférieure au gain maximal possible de l'antenne, comme on pouvait s'y attendre d'après la nature dispersée des orages, mais le fait qu'il y avait, en moyenne, une certaine augmentation du bruit dans une gamme large de conditions d'orage semble indiquer une tendance du bruit à provenir, de préférence, des angles de site les plus petits. En République fédérale d'Allemagne [Kronjäger et Vogt, 1959], on a également trouvé que les antennes directives ont, en moyenne, des facteurs de bruit plus élevés. Pour déterminer les effets de la directivité des antennes sur le rapport signal/bruit, il faut tenir compte non seulement du diagramme polaire de directivité de l'antenne mais également de la localisation des orages et de la fréquence critique de l'ionosphère. Des renseignements assez détaillés sur la localisation des foyers orageux sont maintenant disponibles [par exemple, Kotaki et Katoh, 1983; Kotaki, 1984; Crichlow et autres, 1971].

On possède encore moins d'informations sur l'influence de la polarisation des antennes mais, en première approximation, on peut supposer que le bruit reçu ne dépend pratiquement pas de la polarisation à condition que la hauteur de l'antenne soit grande par rapport à la longueur d'onde. Hagn et autres [1968] et Hagn et Shepherd [1984] ont publié des données limitées sur la polarisation (et la directivité) d'antennes «voisines» du sol. L'URSI [1975, 1978, 1981, 1984] a également fourni des renseignements complémentaires, particulièrement dans les références bibliographiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKIMA, H., AX, G. G. et BEERY, W. M. [1969] Required signal-to-noise ratios for HF communication systems. ESSA Tech. Rep. ERL 131-ITS 92 (NTIS Order No. AD-697579).
- AUSTIN, L. W. [1932] Solar activity and radiotelegraphy. *Proc. IRE*, Vol. 20, 280.
- BARSIS, A. P., NORTON, K. A., RICE, P. L. et ELDER, P. H. [1961] Performance predictions for single tropospheric communication links and for several links in tandem. NBS Tech. Note 102.
- BRADLEY, P. A. et CLARKE, C. [1964] Atmospheric radio noise and signals received on directional aerials at high frequencies. *Proc. IEE*, Vol. III, 1534-1540.
- CLARKE, C. [1962] Atmospheric radio noise studies based on amplitude probability measurements at Slough, England, during the International Geophysical Year. *Proc. IEE*, Vol. 109B, 393.
- COTTONY, H. V. et JOHLER, J. R. [1952] Cosmic radio noise intensities in the VHF band. *Proc. IRE*, Vol. 40, 1053.
- CRICHLOW, W. Q., DAVIS, R. C., DISNEY, R. T. et CLARK, M. W. [1971] Hourly probability of world-wide thunderstorm occurrence. Office of Telecommunications Research Report OT/ITS RR 12 (NTIS Order No. COM75-11202).
- CRICHLOW, W. Q., ROUBIQUE, C. J., SPAULDING, A. D. et BEERY, W. M. [1960a] Determination of the amplitude-probability distribution of atmospheric radio noise from statistical moments. *NBS J. Res.*, Vol. 64D, 49.
- CRICHLOW, W. Q., SPAULDING, A. D., ROUBIQUE, C. J. et DISNEY, R. T. [1960b] Amplitude-probability distributions for atmospheric radio noise. NBS Monograph 23.
- HAGN, G. H. [1982] Man-made electromagnetic noise. *Handbook of Atmospheric*, Chapitre 7. Ed. H. Volland, CRC Press, Boca Raton, FL, Etats-Unis d'Amérique.
- HAGN, G. H., CHINDAHORN, R. et YARBOROUGH, J. M. [1968] HF atmospheric radio noise on horizontal dipole antennas in Thailand. Special Technical Report 47, Stanford Research Institute, Menlo Park, CA 94025, Etats-Unis d'Amérique (NTIS Order No. AD68-1879).

- HAGN, G. H. et SHEPHERD, R. A. [1984] Selected radio noise topics. Final Report, Contract NT83 RAC-36001, SRI-5002-FR/84 SRI International, Arlington, VA, Etats-Unis d'Amérique (NTIA Order No. PB 86 173218).
- HERMAN, J. R. et DE ANGELIS, X. A. [janvier-février 1987] Bandwidth expansion effects on the voltage deviation parameter V_d of MF and HF atmospheric radio noise. *Radio Sci.*, Vol. 22, 1, 26-36.
- KOTAKI, M. [1984] Global distribution of atmospheric radio noise derived from thunderstorm activity. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 46, 10, 867-877.
- KOTAKI, M. et KATOH, C. [1983] The global distribution of thunderstorm activity observed by the Ionospheric Sounding Satellite (ISS-b). *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 45, 12, 833-847.
- KRONJÄGER, W. et VOGT, K. [1959] Über das Aussengeräusch kommerzieller Antennenanlagen (Bruits atmosphériques sur des systèmes d'antennes du service fixe). *NTZ*, 12, 371.
- LAUBER, W. R. et BERTRAND, J. M. [28-30 juin 1977] Preliminary urban VHF/UHF radio noise intensity measurements in Ottawa, Canada. Proc. 2nd Symposium on Electromagnetic compatibility, Montreux, Suisse, 357-362 (IEEE Catalog N° 77CH1224-5EMC).
- MONTGOMERY, G. F. [1954] A comparison of amplitude and angle modulation for narrow-band communication of binary-coded messages in fluctuation noise. *Proc. IRE*, 42, 447.
- SCIENCE COUNCIL OF JAPAN [1960] Compilation of data in Japan for atmospheric radio noise during the IGY, 1957/58. Japanese National Committee for IGY.
- SHAYER, H. N., HATFIELD, V. E. et HAGN, G. H. [1972] Man-made radio noise parameter identification task. Final Report, Contract N00039-71-A-0223, Standard Research Institute, Menlo Park, CA, Etats-Unis d'Amérique (NTIS Order No. AD904405).
- SKOMAL, E. N. [1978] *Man-Made Radio Noise*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, Etats-Unis d'Amérique.
- SPAULDING, A. D. [12-15 juin 1977] Stochastic modelling of the electromagnetic interference environment. Conf. Record, 42.2-114-42.2-123. IEEE International Conference on Communications (ICC '77), Chicago, ILL, Etats-Unis d'Amérique (IEEE Catalog No. 77CH1209-6C SCB).
- SPAULDING, A. D. [1982] Atmospheric radio noise and its effects on telecommunication systems. *Handbook of Atmospherics*, Chapitre 6. Ed. H. Volland, CRC Press, Boca Raton, FL, Etats-Unis d'Amérique.
- SPAULDING, A. D., ROUBIQUE, C. J. et CRICHLLOW, W. Q. [1962] Conversion of the amplitude-probability distribution function for atmospheric radio noise from one bandwidth to another. *NBS J. Res.*, Vol. 66D, 713.
- SPAULDING, A. D. et WASHBURN, J. S. [1985] Atmospheric radio noise: Worldwide levels and other characteristics. National Telecommunications and Information Administration Report 85-173 (NTIS Order No. PB85-212942).
- URSI [1962] The measurement of characteristics of terrestrial radio noise. Special Report No. 7. Elsevier, Londres, Royaume-Uni.
- URSI [1975] *Review of Radio Science 1972-1974*, Radio noise of terrestrial origin, 127-133. Union radioscopique internationale, Bruxelles, Belgique.
- URSI [1978] *Review of Radio Science 1975-1977*, Interference environment, 57-66. Union radioscopique internationale, Bruxelles, Belgique.
- URSI [1981] *Review of Radio Science 1978-1980*, EM noise and interference, E1-E13. Union radioscopique internationale, Bruxelles, Belgique.
- URSI [1984] *Review of Radio Science 1981-1983*, EM noise and interference, E1-E15. Union radioscopique internationale, Bruxelles, Belgique.

REPORT 322-3 *

CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS OF ATMOSPHERIC RADIO NOISE DATA

(Study Programme 29B/6)

(1963-1974-1982-1986)

LIST OF SYMBOLS

Where a symbol is shown in both lower case and capital letters, the capital letter is used to represent the equivalent, in decibels, of the quantity denoted by the lower case letter.

A	Instantaneous amplitude of the noise envelope (dB)
A_{rms}	Root-mean-square value of the noise envelope voltage (dB)
APD	Amplitude-probability distribution of received noise envelope (exceedance probability)
b, B	Effective receiver noise bandwidth (Hz) ($B = 10 \log b$)
D	Deviation of a random variable from its median value (dB)
D_l	Lower decile, value of the average noise power exceeded 90% of the hours within a time block (dB below the median value for the time block)
D_R	Upper decile of signal-to-noise ratio (dB value exceeded 10% of the time)
D_S	Upper decile of the received signal power (dB value exceeded 10% of the time)
D_u	Upper decile, value of the average noise power exceeded 10% of the hours within a time block (dB above the median value for the time block)
E_e	Expected value of the signal field strength required for a given grade of service (dB($\mu V/m$))
E_n	Root-mean-square noise field strength for a bandwidth b (dB($\mu V/m$))
f	Operating noise factor of a receiving system
F	Operating noise figure of a receiving system ($F = 10 \log f$)
f_a	Effective antenna noise factor that results from the external noise power available from a loss-free antenna
F_a	Effective antenna noise figure ($F_a = 10 \log f_a$)
F_{am}	Median of the hourly values of F_a within a time block
f_c	Noise factor of the antenna circuit (its loss in available power)
f_{MHz}	Frequency (MHz)
f_r	Receiver noise factor
f_l	Noise factor of the transmission line (its loss in available power)
k	Boltzmann's constant = 1.38×10^{-23} J/K
K	Temperature (Kelvin)
P	Received signal power available from an equivalent loss-free antenna (dBW)
P_e	Expected median value of P (dBW)
p_n, P_n	Noise power available from an equivalent loss-free antenna ($P_n = 10 \log p_n$)
p_s, P_s	Received signal power required for a given signal-to-noise ratio, from a loss-free antenna ($P_s = 10 \log p_s$)
pdf	Probability density function
r, R	Signal-to-noise power ratio required ($R = 10 \log r$)
R_m	Median value of R
t	Standard normal deviate
T_a	Effective antenna temperature in the presence of external noise (K)
T_0	Reference temperature = 288 K

* This new version of Report 322 was adopted by the XVIth Plenary Assembly (Dubrovnik, 1986) for the purpose of facilitating further studies to be carried out by Study Group 6 (see Recommendation 372-4).

V_d	Voltage deviation; the ratio (dB) of the root-mean-square envelope voltage to the average noise envelope voltage
V_{dm}	Time-block median value of V_d
σ_D	Standard deviation of D
σ_{D_l}	Standard deviation of D_l
σ_{D_u}	Standard deviation of D_u
σ_{D_R}	Standard deviation of D_R
$\sigma_{F_{am}}$	Standard deviation of F_{am}
σ_P	Standard deviation of the expected received signal power
σ_R	Standard deviation of R
σ_T	Total standard deviation; total uncertainty of P_e
σ_{V_d}	Standard deviation of V_d

1. Introduction

The determination of radio communication system performance and the resulting minimum signal level required for satisfactory reception is a matter of the proper statistical treatment of both the desired signal and the real-world noise (and interference) processes. System performance is highly dependent on the detailed statistical characteristics of both the signal and the noise. It has long been recognized that the ultimate limitation to a properly designed communication link will usually be the radio noise.

There are a number of types of radio noise that must be considered in any design; though, in general, one type will be the predominant noise and will be the deciding design factor. In broad categories, the noise can be divided into two types — noise internal to the receiving system and noise external to the receiving antenna. The internal noise is due to antenna and transmission line losses, or is generated in the receiver itself and has the characteristics of thermal noise (i.e., white Gaussian noise). Noise power is generally the most significant parameter (but seldom sufficient) in relating the interference potential of the noise to system performance. Since the noise level often results from a combination of external and internal noise, it is convenient to express the resultant noise by means of an overall operating noise factor that characterizes the performance of the entire receiving system. In so doing, it is then possible to make decisions concerning required receiving system sensitivity; that is, a receiver need have no more sensitivity than that dictated by the external noise. Indeed, world-wide minimum noise levels have been estimated for this purpose (Report 670). Also, the noise levels can then be compared to the desired signal level to determine the pre-detection signal-to-noise ratio. The pre-detection signal-to-noise ratio is an important system design parameter and is always required knowledge (required but seldom sufficient) when determining the effects of the external noise on system performance.

External noise can be divided into several types, each having its own characteristics. The most usual types are of atmospheric, galactic, and man-made origin. All these types are considered here, but since atmospheric noise usually predominates at frequencies below about 30 MHz, this Report deals primarily with this type and with its influence on the reception of signals. Unlike the internal noise, the external noise is generally highly non-Gaussian in character, usually being impulsive in nature.

The purpose of this Report is to present values of noise power and of other noise parameters, and to show, by example, the method of using these noise parameters and their statistical variations in the evaluation of the performance of a radio circuit. Additional examples of the use of the noise data in this Report and a summary of the effects of atmospheric radio noise (and similar forms of impulsive noise) on telecommunication systems performance are given in Spaulding [1982]. Also, recent results concerning atmospheric noise from lightning and means of developing appropriate communication systems to perform in this noise are summarized by URSI [1981], in Report 254 and in the references therein. Finally, Reports 258 and 670 give additional information concerning man-made and atmospheric noise, and Recommendation 339 gives required signal energy to noise power spectral density ratios for various systems operating in the presence of atmospheric noise.

The estimates for atmospheric noise levels given in this Report are for the average background noise level due to lightning in the absence of other signals, whether intentionally or unintentionally radiated. In addition, the noise due to local thunderstorms can be important for a significant percentage of the time. This local noise can also be significant at frequencies well above 30 MHz. Some information pertaining to local thunderstorm noise is available in Hagn and Shepherd [1984], Kotaki and Katoh [1983] and Kotaki [1984].

2. Radio noise estimates

This Report gives:

- estimates that take account of major reliable programmes of noise measurements,
- statistical information on the accuracy of the estimates,
- a statistical description of the fine structure of the noise,
- examples of using the estimates in the determination of system performance.

The data used were obtained from the 16 stations that used standardized recording equipment, the ARN-2 radio noise recorder, which was operated by a number of organizations in an international cooperative programme [URSI, 1962], a measurement station in Thailand that used equipment equivalent to the ARN-2, and 10 measurement stations within the USSR. The measurement station locations are shown in Fig. 1. Data from the stations during the period 1957 to 1966 inclusive were used in the analysis. Not all the stations produced data for the entire period. Data from the Southern Hemisphere are sparse. Details on the specifics of this data base of long-term atmospheric radio noise measurements and the analysis of these data are given in Spaulding and Washburn [1985].

For these predictions, the data were grouped into four seasons of the year and six four-hour periods of the day in each season. The aggregate of corresponding four-hour periods of the day throughout a season was defined as a time block. Thus, there are in the year twenty-four time blocks, each consisting of about 360 hours (four hours in each day for about ninety days).

The division of the year into four seasons of three months each was made in the following way, although it was realized that the seasonal pattern of noise variations existing in temperate regions was not necessarily followed at lower latitudes.

Month	Season	
	<i>Northern Hemisphere</i>	<i>Southern Hemisphere</i>
December, January, February	Winter	Summer
March, April, May	Spring	Autumn
June, July, August	Summer	Winter
September, October, November	Autumn	Spring

The main parameter presented is the median hourly value of the average noise power for each time block, and the variations in this parameter show systematic diurnal and seasonal variations of the noise. The variations of the hourly values within a time block have been treated statistically.

To facilitate the use of the noise data in this Report, computer programs are available from the CCIR Secretariat that give "exact" numerical representations of all the noise characteristics contained in this Report.

3. Description of the parameters used

As noted above, the single most important and basic noise parameter is noise power, although this single parameter (or any other single parameter) is almost never sufficient to determine the effects of the noise on system performance. Also, it is convenient to express the external noise in a form that allows for its combination with the internal noise, thereby given an overall operating noise threshold for a receiving system. Report 670 details how this noise threshold is obtained.

The noise power received from sources external to the antenna is expressed in terms of an effective antenna noise factor, f_a , which is defined by:

$$f_a = p_n / kT_0 b = T_a / T_0 \quad (1)$$

where:

p_n : noise power available from an equivalent loss free antenna (W),

k : Boltzmann's constant = 1.38×10^{-23} J/K,

T_0 : reference temperature, taken as 288 K,

b : effective receiver noise bandwidth (Hz),

T_a : effective antenna temperature in the presence of external noise.

Equation (1) gives two equivalent methods of specifying the noise power, by the effective noise factor or by the effective noise temperature of the antenna. The value of T_0 has been taken as 288 K so that $10 \log kT_0$ is 204 dB below one Joule.

Since atmospheric noise is a spectrally broadband process, both f_a and T_a are independent of bandwidth (for normal communications bandwidths). Note that f_a is a dimensionless quantity, being the ratio of two powers (or, equivalently, two temperatures). The quantity f_a , however, gives, numerically, the available power spectral density in terms of kT_0 or the available power in terms of $kT_0 b$. The noise factor f_a is commonly given by the corresponding noise figure F_a , i.e., $F_a = 10 \log f_a$.

The antenna noise figure, F_a , in decibels, in this Report is for a lossless short vertical antenna over a perfectly conducting ground plane. Means of obtaining the appropriate antenna noise figure, F_a , for other types of antennas from the data in this Report are given in Report 670, the references therein, Hagn and Shepherd [1934] and Lauber and Bertrand [1977]. F_a is simply related to the vertical r.m.s. field strength (for the short vertical antenna) by:

$$E_n = F_a - 95.5 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 10 \log b \quad (2)$$

where:

E_n : r.m.s. noise field strength (dB(μ V/m)) in bandwidth b (Hz),

F_a : noise figure for the centre frequency f_{MHz} (MHz).

Atmospheric radio noise is characterized by large, rapid fluctuations, but if the noise power is averaged over a period of several minutes, the average values are found to be nearly constant during a given hour, variations rarely exceeding ± 2 dB except near sunrise or sunset, or when there are local thunderstorms. The ARN-2 radio noise recorder yielded values of average power at each of eight frequencies for fifteen minutes each hour, and it is assumed that the resulting values of F_a used in the analysis were representative of the hourly values. Similar assumptions are made to obtain hourly F_a values for the other measurements (non-ARN-2) used in the analysis.

In predicting the expected noise level, the systematic trends, that is, the trends with time of day, season, frequency, and geographical location, are taken into account explicitly. There are other variations that must be taken into account statistically. The value of F_a for a given hour of the day varies from day to day, because of random changes in thunderstorm activity and propagation conditions. The median of the hourly values within a time block (the time-block median), is designated as F_{am} . Variations of the hourly values during the time block can be represented by the values exceeded for 10% and 90% of the hours, expressed as deviations D_u and D_l from the time block median. When plotted on a normal probability graph (level in dB), the amplitude distribution of the deviations, D , above the median can be represented with reasonable accuracy by a straight line through the median and upper decile values, and a corresponding line through the median and lower decile values can be used to represent values below the median.

It is natural to expect some correlation of atmospheric radio noise with sunspot activity, since both propagation conditions and thunderstorm activity seem to be affected by solar activity. Some measurements at very low frequencies, made many years ago, did seem to show such a correlation [Austin, 1932]. A thorough examination of the data for Boulder, Colorado (1957-1966) did not reveal any systematic variation of the noise with sunspot activity.

So far, we have dealt with the average power as represented by F_a (or T_a) as the most useful and common way of specifying the external noise level. When one is concerned with determining the effects of the external noise on system performance, more information about the received noise process than just its energy content (level) is almost always required. An exception would be if the external noise were a white Gaussian noise process, but this is almost never the case. Atmospheric noise (and man-made noise) is a random process. The fact that we are dealing with a random process means that the noise can be described only in probabilistic or statistical terms and cannot be represented by a deterministic waveform or any collection of deterministic waveforms.

The basic description of any random process is its probability density function (pdf) or distribution function. The first-order pdf of the received interference process is almost always required in order to determine system performance (although sometimes it is not sufficient). The received atmospheric noise process under consideration here is a bandpass process in that it is describable by an envelope process and a phase process. Since the phase process is known (phase uniformly distributed), the required pdf of the instantaneous amplitude can be obtained from the envelope amplitude pdf. Usually, also, the envelope pdf can be used directly in system performance analyses. The atmospheric noise envelope statistic is usually given as (and measured as) a cumulative exceedance distribution, termed the "amplitude probability distribution" or APD. For some envelope level, A_i , the APD is the fraction of the total measurement time, T , for which the envelope was above level A_i .

A large number of APDs have been measured in several countries, and reasonably consistent results have been obtained [URSI, 1962; Clarke, 1962; Science Council of Japan, 1960; see also URSI, 1975, 1978, 1981, 1984, and references therein]. For presenting the data in an operationally useful form, it is convenient to construct a family of idealized curves, one of which can be chosen to represent a practical APD to a sufficient accuracy. This has been done by using a system of coordinates in which a Rayleigh distribution (representing the envelope of thermal-type noise), is a straight line with a slope of -0.5 . The low amplitude parts of an atmospheric noise curve have this slope, the high amplitude parts are represented by a second straight line, with a greater slope, and the two lines are joined by an arc of a circle. The construction of these curves involved the use of quantities related to the r.m.s. average, and mean logarithmic values of the distribution, parameters that have been recorded in routine noise measurements [Crichlow *et al.*, 1960a, 1960b]. In practice, because the average voltage and mean logarithmic voltage are found to be closely correlated, the ratio of r.m.s. to average voltage, V_d (dB), is sufficient to specify the curve that can be used to represent the distribution [Spaulding *et al.*, 1962]. A set of the APD curves is reproduced in Fig. 27, which gives the probability ($\times 100$) that an envelope level A_0 (given relative to the envelope r.m.s. level, A_{rms}) will be exceeded. Figure 27 represents one "model" for the APD parametric in the parameter V_d . Many other models for atmospheric noise statistics have been developed, and a historical summary of the various main models and their interrelationships has been given by Spaulding [1977, 1982] and by Shaver *et al.* [1972]. Numerical representation (coefficients and computer programs) of the APD model in this Report is available in Spaulding and Washburn [1985]. It should be noted that the actual noise power is one-half the envelope power (as given by A_{rms}).

The APD curves (Fig. 27) can be used for a wide range of bandwidths. The estimates of V_d given in this Report, however, are for a bandwidth of 200 Hz, so a means to convert the 200 Hz V_d to other bandwidths is needed. Herman and De Angelis [1987] conducted an extensive study in order to develop a V_d bandwidth relationship. Figure 26 gives the results of this study and gives a means to convert the 200 Hz V_d to the corresponding V_d in other bandwidths. The results of Fig. 26 are strictly valid only at MF, although recent results indicate they are valid also at HF. Care should be exercised, therefore, when applying these results to lower frequencies (i.e., LF, VLF, ELF).

4. Methods used to obtain the estimates

Values of F_a , collected from the measurement stations previously mentioned, were edited to remove, as far as possible, the effects of man-made noise and unwanted signals. The remaining values were considered to represent actual atmospheric radio noise. The time block median 1 MHz values were compared with the Report 322-2 values and corrections derived. The means for obtaining the 1 MHz values from the totality of measurements at all the measurement frequencies and the numerical interpolation and mapping procedures used to obtain the world-wide 1 MHz F_{am} values for each time block are detailed in Spaulding and Washburn [1985].

Only data from measurement stations that employed ARN-2 equipment were used to obtain the variation of F_{am} with frequency (i.e., for frequencies other than 1 MHz). An analysis of these data indicated no significant difference from the frequency variations given in Report 322-2. The same is true for the deviations, D_u , D_l , of the decile value of F_a from the median value F_{am} , for each time block, and also for the median value, V_{dm} , of the voltage deviation V_d .

To obtain a measure of the variability of the noise with respect to the predicted values in each time block, standard deviations of F_{am} , D_u , D_l , and V_d , as functions of frequency, were found.

5. The noise data or estimates

World charts, showing the expected median values of background atmospheric radio noise, F_{am} in dB above kT_0b , at 1 MHz for each season, 4-hour-time block, in local time, are shown in Figs. 2a to 25a. The only geographical variation given is for the 1 MHz F_{am} . The variation of F_{am} with frequency for each season-time block is given in Figs. 2b to 25b and the variation with frequency of the other noise parameters is given in Figs. 2c to 25c.

Galactic noise levels, from Cottony and Johler [1952] and verified using a vertical antenna, are shown on the frequency curves (Figs. 2b to 25b). Within a ± 2 dB temporal variation (neglecting ionospheric shielding), the values shown will be the upper limit of galactic noise but in any given situation the received noise should be determined considering critical frequencies and the directional properties of the antenna.

In many locations and at some frequencies, man-made noise is a limiting factor in radiocommunication for at least part of the time. Although this type of noise depends on local conditions, a curve of expected values at a quiet receiving location has been added. The values shown are the "average" of the man-made values recorded at sites chosen to ensure a minimum amount of man-made noise (the ARN-2 sites). Man-made noise levels, in terms of F_a , and their variations for various environmental categories (business, residential, rural and quiet rural, etc.) are given in Report 258. The noise levels for "quiet rural" locations given in Report 258 are taken from this Report. Additional information concerning man-made noise is summarized in Hagn [1982], Skomal [1978] and URSI [1975, 1978, 1981, 1984].

It will be observed that values of atmospheric noise are indicated that are below the expected levels of man-made noise and galactic noise. These values should be used with caution, as they represent only estimates of what atmospheric noise levels would be recorded if the other types of noise were not present. An examination of the data, however, shows that such low levels were, on rare occasions, actually measured.

On Figs. 2c to 25c are the estimated values of D_u , D_l , V_{dm} , σ_{D_u} , σ_{D_l} , σ_{V_d} , and $\sigma_{F_{am}}$. D_u will normally be used for assessing minimum required signal strengths, but D_l may be needed to determine whether the internal noise of a receiving system is negligible under the quieter external noise conditions.

The variation of F_{am} with frequency (Figs. 2b to 25b) is given by a least squares numerical mapping of the totality of ARN-2 data for all the measurement frequencies [Spaulding and Washburn, 1985]. The parameter $\sigma_{F_{am}}$ represents, as a function of frequency, the variation of the F_{am} data about the "mapped" (or estimated) values. The curves for $\sigma_{F_{am}}$ will be seen to extend only up to 10 MHz, since at higher frequencies the predominant noise at many measurement locations was often of galactic origin.

Originally, separate curves for D_u , D_l , σ_{D_u} , and σ_{D_l} were derived using data from measurement locations in temperate and tropical zones. No statistically significant difference between the two zones was obtained and, therefore, this Report gives a single curve for the entire Earth's surface. These curves should be used with some caution, especially at the higher frequencies.

APD curves corresponding to various values of V_d , are given in Fig. 27, in which the r.m.s. envelope voltage, A_{rms} , is taken as the reference. The measured values of V_d vary about the predicted median value, V_{dm} , and their variation is given by σ_{V_d} . The V_{dm} estimates given are for a 200 Hz bandwidth. The corresponding V_{dm} for other bandwidth can be obtained from Fig. 26. As noted earlier, this bandwidth conversion should be used with caution at the lower frequencies (VLF and LF).

The figures are used in the following way. The value of F_{am} for 1 MHz is found from the noise charts (Figs. 2a to 25a) for the season under consideration. Using this value as the noise grade, the value of F_{am} for the required frequency is determined from the frequency curves (Figs. 2b to 25b). The variability parameters $\sigma_{F_{am}}$, D_u , σ_{D_u} , etc., are obtained for the required frequency from Figs. 2c to 25c. If the value of $D(= F_a - F_{am})$ or the

value of σ_D is required for any percentage (less than 50%) of time other than 10%, the values can be found by plotting D_u and σ_{D_u} on a normal probability graph (with ordinate values in decibels) and drawing straight lines through 0 dB at 50% and the 10% values, as shown in Fig. 28. That is, the noise power is log-normally distributed (above 50%). Values at percentages greater than 50% can be obtained in the same manner using D_l and σ_{D_l} .

6. Application of noise data to system evaluation

The treatment here is not intended to be comprehensive; however, it is considered desirable to give some indication of how the data may be used in the study of telecommunication system performance. Additional examples and information are given in Spaulding [1982], URSI [1975, 1978, 1981, 1984], and the references therein.

As noted earlier, it is desirable to express the external noise as an antenna noise factor, so that it can be combined with the noise generated within the receiving system to give an overall operating noise factor, f (Report 670) [Barsis *et al.*, 1961]. If the receiver is free from spurious responses and all elements prior to the receiver are at the reference temperature T_0 , then f is given by:

$$f = f_a - 1 + f_a f_i f_r \quad (3)$$

where:

- f_a : noise factor of the antenna (its loss in available power),
- f_i : noise factor of the transmission line (its loss in available power), and
- f_r : noise factor of the receiver ($10 \log f_r$ is the familiar receiver noise figure).

The operating noise factor, f , is useful in determining the relation between the signal power, p_s , available from a loss-free antenna and the corresponding signal-to-noise ratio, r , at the intermediate frequency output of the receiver, since:

$$p_s = f r k T_0 b \quad (4)$$

or:

$$P_s = R + F + B - 204 \quad (5)$$

where:

$$F = 10 \log f$$

$$B = 10 \log b, \text{ etc.}$$

In evaluating the operating noise figure, F , for use in equation (5), it is necessary to consider all of the parameters in equation (3). However, in many cases, one source of noise will predominate, and only one of the component noise factors will be important. At low frequencies, a receiving system with poor internal noise characteristics may be used, since the values of f_a are large, and will determine the value of f . In general, F_a will decrease with increasing frequency, and, at the higher frequencies, the antenna tends to become more efficient and f_a approaches unity. Under these conditions, f_i and/or f_r may become important in the determination of f (Report 670).

The relation (5) is used to obtain the required average signal power from the required signal-to-noise ratio, R (dB). The required R always depends on the detailed statistical characteristics of both the noise and signal processes. For the noise, the APD (or statistics derivable from it) is almost always required (but sometimes not sufficient) information. Also, since the determination of system performance involves predicting the future (statistically) and such predictions are subject to error, it is common to define system performance in terms of three independent component parts: grade of service, time availability, and service probability [Barsis *et al.*, 1961; Spaulding, 1982].

6.1 *Grade of service* represents the average performance for stationary noise and signal processes. Typical examples are probability of symbol error versus signal-to-noise ratio for digital systems, articulation index versus signal-to-noise ratio for voice systems, etc.

6.2 *Time availability* is the percentage of time a given grade of service or better will be achieved.

6.3 *Service probability* is the probability that a specified grade of service or better will be achieved for a specified time availability. It is the "standard" statistical confidence factor required for any statistical description.

When the desired performance of a system has been defined, it is necessary to evaluate the various factors affecting this performance. For the sake of clarity and simplicity, the performance will, in the following two examples, be evaluated in terms of the characteristics of the available signal and noise powers at the terminals of the equivalent loss-free receiving antenna. In both examples it will be assumed that a short vertical rod antenna is used and that the predominant noise is atmospheric noise external to the system. In the first example, ground-wave propagation is assumed, so that the signal level is constant and only the noise level is variable. The second example involves sky-wave propagation and thus both the signal and noise levels vary with time. In both examples, the variation of the noise power is log-normal (i.e., dB values normally distributed) and the signal power is also log-normal (but constant, zero variance, in the first example). This results, then, in the signal-to-noise ratio, r , also being log-normal. This means that the standard procedures (based on the normal distribution) to determine statistical confidence factors (service probability) can be followed. The determination of the service probability involves not only uncertainties associated with the noise parameters but also the uncertainties of all values involved in the prediction process.

6.4 Example I

Determine the performance of a binary symmetric non-coherent frequency shift keying (NCFSK) system with reception at Geneva, Switzerland, under the following conditions.

Frequency:	50 kHz
Time of day:	2000-2400 local time
Season:	summer
Bandwidth:	100 Hz
Propagation:	ground wave (resulting in a constant signal)
Grade of service:	probability of bit error of 5×10^{-4} . This corresponds approximately to 1% teletype errors in a five unit start-stop system.

The problem is to assess the probability that a given received signal power will provide the specified grade of service for any given percentage of time.

The expected value (mean value) of received power, P_e , required for a particular grade of service for a given external noise figure, F_a , is from relation (5):

$$P_e = F_a + R + B - 204 \quad \text{dBW} \quad (6)$$

where R is the required pre-detection signal-to-noise ratio (dB) for the given bandwidth.

When the receiving antenna is a short vertical rod over a ground plane, the corresponding field strength, E_e , is given by:

$$E_e = P_e + 20 \log f_{\text{MHz}} + 108.5 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (7)$$

The first step is to determine the required R (and its variation). Following Montgomery [1954], we have the following results for any arbitrary additive noise that is independent from one integration period (bit length) to the next and that has uniformly distributed phase. For the symmetric binary NCFSK system, the probability of a bit being in error is given by one half the probability that the noise envelope exceeds the signal envelope. Therefore, the required signal-to-noise ratio can be obtained directly from the APD (Fig. 27) for the appropriate V_d . From Fig. 19c, the 200 Hz V_{dm} at 50 kHz is 8.5 dB and σ_{V_d} is 1.2 dB. Using Fig. 26, this translates to the 100 Hz V_d ranging between 6.6 and 8.9 dB (from the 200 Hz V_d range of 7.3 to 9.7 dB) with the 100 Hz V_{dm} being 7.7 dB. The APDs can be used directly to determine the median required signal-to-noise ratio (R) and its variation. However, this is also available in Akima *et al.* [1969] where probability of bit error versus signal-to-noise characteristics for various V_d 's is given (using the APDs of Fig. 27 of this Report). The required R for a V_d of 7.7 is 20.3 dB with a variation of approximately 0.8 dB based on the above expected V_d range; that is, $\sigma_R = 0.8$ dB. It should be noted [Akima *et al.*, 1969] that if the signal was Rayleigh fading the required R will be 28 dB and σ_R would be 0 dB, since for small probability of errors, probability of error is independent of V_d . This is not true for other forms of fading (e.g., log-normal) or if diversity reception is employed. In these cases, probability of error is quite dependent on the APD (i.e., V_d).

F_a must now be derived from the median value F_{am} plus a deviation D consistent with the percentage of time during which satisfactory service must be obtained (time availability). From Fig. 19a, the 1 MHz value is 74 dB and the value of F_{am} at 50 kHz is 133 dB with a standard deviation, $\sigma_{F_{am}}$, of 3.4 dB (Fig. 19b, 19c). To obtain values of F_a for percentages of time other than 50% (given by F_{am}), D_u (6.4 dB from Fig. 19c) is used to obtain $D = F_a - F_{am}$ as shown on Fig. 28. Likewise, σ_D is obtained using σ_{D_u} (1.9 dB from Fig. 19c) as also shown on Fig. 28.

Equation (6) is next evaluated (with $F_a = F_{am} + D$) using the appropriate D for the required time availability. From equation (6), then, with $R = 20.3$ dB, $F_{am} = 133$ dB, and $B = 20$ dB, we obtain:

$$P_e = D - 30.7 \quad \text{dBW} \quad (8)$$

This is the usual prediction of the signal power required (or required field strength from equation (7)) to produce the specified grade of service for various time availabilities. The required signal power for various time availabilities is shown on Fig. 29. Since, however, the prediction uncertainties have not been taken into account yet, only one-half of such circuits will meet the design criteria.

The uncertainties to consider are given by the following standard deviations:

σ_P : the standard error of achieving the expected "constant" received signal power. This must be derived from propagation and other data and, for the purposes of this example, is assumed to be 2 dB;

σ_R : uncertainty in the required signal-to-noise ratio, 0.8 dB as derived above;

$\sigma_{F_{am}} = 3.4$ dB (from Fig. 19c);

σ_D : standard deviation of D (from Fig. 28).

The resulting standard deviation, σ_T , is obtained, since the errors are uncorrelated from:

$$\sigma_T^2 = \sigma_P^2 + \sigma_R^2 + \sigma_{F_{am}}^2 + \sigma_D^2 \quad (9)$$

σ_T is also shown on Fig. 29 and enables us to determine the service probability (confidence) that the indicated time availability will be achieved, as follows.

Since, as noted earlier, only log-normal distributions are involved, for any given value of received power, P , the time availability can be determined as a function of the service probability from:

$$t = (P - P_e) / \sigma_T \quad (10)$$

where t is the standard normal deviate. Figure 30 gives the values of t as a function of service probability.

If a probability of only 0.5 (50% confidence) is required that a specified time availability will be achieved, $t = 0$, $P = P_e$, and the required powers are given by Fig. 29. Suppose, however, we specify that we want to be 90% confident (service probability of 0.9) that our grade of service (probability of bit error of 5×10^{-4}) or better will be achieved 90% of the time (or better), then $t = 1.3$ (Fig. 30), $\sigma_T = 4.45$ dB (Fig. 29), $P_e = 24.3$ dBW (Fig. 29) so that, from equation (10), the required signal strength is -18.5 dBW. In general, using equation (8) and equation (10):

$$P = D - 30.7 + t \sigma_T \quad (11)$$

Results for service probabilities of 0.5, 0.8, 0.9 and 0.99 are shown on Fig. 31.

6.5 Example II

Determine the performance of an A3E telephony double-sideband system with reception at Geneva, Switzerland, under the following conditions:

Frequency:	5 MHz
Time of day:	2000-2400 local time
Season:	summer
Bandwidth:	6 kHz
Propagation:	ionospheric (resulting in a fading signal)
Grade of service:	marginally commercial.

Again the problem is to assess the probability that a given received signal power will provide the specified grade of service or better for any given percentage of time. Here, both the signal and atmospheric noise have statistical variation. For ionospheric propagation, it is usually noted that the short-term (within an hour, say) distribution of the signal is Rayleigh and the long-term fading of the hourly (say) median values is log-normal (Report 266). The resulting normal distribution of signal median dB values, for this example, has a standard deviation of 8 dB (Report 266), which results in an upper decile value for the signal, D_s , of $1.27 \times 8 = 10$ dB. Based on the variation noted in Report 266 for the standard deviation of the long-term signal fading distribution, a value of $\sigma_{D_S} = 2$ dB is used.

Recommendation 339 gives a median required carrier power to noise power in a 1 Hz bandwidth of 64 dB for marginally commercial A3E emissions. This gives a median required signal-to-noise ratio R of 26 dB. For analogue systems these performance requirements are based on white Gaussian noise. In general, a given voice understandability can be achieved with a smaller R in impulsive (e.g., atmospheric) noise than in white Gaussian noise [Spaulding, 1982]. Figure 19c gives a V_{dm} of 4.5 dB at 5 MHz and a 200 Hz bandwidth. This translates to a 6 kHz bandwidth V_{dm} of 7.5 dB (Fig. 26). Spaulding [1982] gives results for AM voice systems in atmospheric noise ($V_d = 12$ dB). These results indicate that we can probably safely reduce the required R_m by about 6 dB (at least, assuming no noise limiting). We, therefore, will specify a required R_m of 20 dB, with a σ_R of 3 dB.

As in Example I, the 1 MHz F_{am} value for Geneva for June, July, August and 2000-2400 h is 74 dB. From Figs. 19b and 19c, the 5 MHz F_{am} value is 56 dB with a standard deviation $\sigma_{F_{am}}$ of 4.1 dB. Also from Fig. 19c, $D_u = 4.8$ dB and $\sigma_{D_u} = 1.3$ dB. Since the signal-to-noise ratio is log-normally distributed (as it was in Example I), we proceed as before. The upper decile for R is given by:

$$D_R^2 = D_S^2 + D_u^2 \quad (12)$$

since the signal and noise processes are independent. The deviation $D = R - R_m$ ($D_R = 11.1$ dB) and σ_D (using a decile value given by $\sigma_{D_R} = \sqrt{\sigma_{D_u}^2 + \sigma_{D_S}^2} = 2.4$ dB) are shown on Fig. 32.

The deviation, D , now accounts for the long-term statistical variation of both the signal power and the noise power.

In order to obtain the service probability, the prediction uncertainties are given by the following standard deviations:

σ_P : standard deviation in the expected received signal power. We have specified the short-term and long-term fading distributions of P , but there still is a prediction error for the expected value, due to, for example, errors in the ionospheric propagation prediction method used. We will use 5 dB for σ_P ;

σ_R : uncertainty in the required R , 3 dB as discussed earlier;

$\sigma_{F_{am}} = 4.1$ dB (Fig. 19c);

σ_D : standard deviation of D (Fig. 32), which is a function of the required time availability.

The standard deviation σ_T is shown on Fig. 33. Also shown on Fig. 33 is the expected median value of the received signal power, P_e , for the different time availabilities, from equation (6), given by:

$$P_e = F_{am} + R_m + D + B - 204$$

or:

$$P_e = D - 90.2 \quad \text{dBW} \quad (13)$$

Finally, Fig. 34 shows the required received signal power versus time availability for service probabilities of 0.5, 0.8, 0.9 and 0.99 using, as in Example I:

$$P = P_e + t \sigma_T \quad (14)$$

7. The influence of the directivity and polarization of antennas

All the noise information presented in this Report, including the examples given in the last section, relates to a short vertical receiving antenna. Although such an antenna may be used in practice at low frequencies, long-distance communication at high frequencies is normally achieved by the use of a highly-directional antenna. Some allowance must therefore be made for the effects of directivity and polarization on the signal-to-noise ratio.

It is assumed that the signal gain is reasonably well known, although it is dependent on the relative importance of the various propagation modes, which vary with time. The effective noise factor of the antenna, insofar as it is determined by atmospheric noise, may be influenced in several ways. If the noise sources were distributed isotropically, the noise factor would be independent of the directional properties. In practice, however, the azimuthal direction of the beam may coincide with the direction of an area where thunderstorms are prevalent, and the noise factor will be increased correspondingly, compared with the omnidirectional antenna. On the other hand, the converse may be true. The directivity in the vertical plane may be such as to differentiate in favour of, or against, the reception of noise from a strong source. The movement of storms in and out of the antenna beam may be expected to increase the variability of the noise, even if the average intensity is unchanged.

Experimental information on the effects of directivity is scarce, and in some respects conflicting. In an equatorial region (Singapore), the median value of F_a for certain directional antennas was found to be somewhat higher (about 4 dB on the average), than that for a vertical rod antenna over the same period [Bradley and Clarke, 1964]. This figure is considerably lower than the maximum possible antenna gain, as would be expected from the widespread nature of the storms, but the fact that there was, on the average, some gain in noise in a wide range of storm conditions suggests that there was a tendency for the noise to be received more from the lower angles of elevation. In the Federal Republic of Germany also, directional antennas had, on the average, higher noise factors [Kronjäger and Vogt, 1959]. In order to determine the effects of antenna directivity on the signal-to-noise ratio, it is necessary to take into account the storm locations and the critical frequency of the ionosphere in addition to the antenna polar diagram. Rather detailed information on thunderstorm locations is now available [e.g., Kotaki and Katoh, 1983; Kotaki, 1984; Crichlow *et al.*, 1971].

Even less information is available on the effects of antenna polarization but for a first approximation, it may be assumed that the received noise would be comparable with either polarization, provided the antenna height is large compared with the wavelength. Some limited data on polarization (and directivity) for antennas "close" to the ground is available in Hagn *et al.* [1968] and Hagn and Shepherd [1984]. Additional information is also available (primarily in the references) from URSI [1975, 1978, 1981, 1984].

REFERENCES

- AKIMA, H., AX, G. G. and BEERY, W. M. [1969] Required signal-to-noise ratios for HF communication systems. ESSA Tech. Rep. ERL 131-ITS 92 (NTIS Order No. AD-697579).
- AUSTIN, L. W. [1932] Solar activity and radio telegraphy. *Proc. IRE*, Vol. 20, 280.
- BARSIS, A. P., NORTON, K. A., RICE, P. L. and ELDER, P. H. [1961] Performance predictions for single tropospheric communication links and for several links in tandem. NBS Tech. Note 102.
- BRADLEY, P. A. and CLARKE, C. [1964] Atmospheric radio noise and signals received on directional aerials at high frequencies. *Proc. IEE*, Vol. III, 1534-1540.
- CLARKE, C. [1962] Atmospheric radio noise studies based on amplitude probability measurements at Slough, England, during the International Geophysical Year. *Proc. IEE*, Vol. 109B, 393.
- COTTONY, H. V. and JOHLER, J. R. [1952] Cosmic radio noise intensities in the VHF band. *Proc. IRE*, Vol. 40, 1053.
- CRICHLOW, W. Q., DAVIS, R. C., DISNEY, R. T. and CLARK, M. W. [1971] Hourly probability of world-wide thunderstorm occurrence. Office of Telecommunications Research Report OT/ITS RR 12 (NTIS Order No. COM75-11202).
- CRICHLOW, W. Q., ROUBIQUE, C. J., SPAULDING, A. D. and BEERY, W. M. [1960a] Determination of the amplitude-probability distribution of atmospheric radio noise from statistical moments. *NBS J. Res.*, Vol. 64D, 49.
- CRICHLOW, W. Q., SPAULDING, A. D., ROUBIQUE, C. J. and DISNEY, R. T. [1960b] Amplitude-probability distributions for atmospheric radio noise. NBS Monograph 23.
- HAGN, G. H. [1982] Man-made electromagnetic noise. *Handbook of Atmospherics*, Chapter 7. Ed. H. Volland, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- HAGN, G. H., CHINDAHPORN, R. and YARBOROUGH, J. M. [1968] HF atmospheric radio noise on horizontal dipole antennas in Thailand. Special Technical Report 47, Stanford Research Institute, Menlo Park, CA 94025, USA (NTIS Order No. AD68-1879).

- HAGN, G. H. and SHEPHERD, R. A. [1984] Selected radio noise topics. Final Report, Contract NT83 RAC-36001, SRI-5002-FR/84, SRI International, Arlington, VA, USA (NTIA Order No. PB86 173218).
- HERMAN, J. R. and DE ANGELIS, X. A. [January-February, 1987] Bandwidth expansion effects on the voltage deviation parameter (V_d) of MF and HF atmospheric radio noise. *Radio Sci.*, Vol. 22, 1, 26-36.
- KOTAKI, M. [1984] Global distribution of atmospheric radio noise derived from thunderstorm activity. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 46, 10, 867-877.
- KOTAKI, M. and KATOH, C. [1983] The global distribution of thunderstorm activity observed by the Ionospheric Sounding Satellite (ISS-b). *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 45, 12, 833-847.
- KRONJÄGER, W. and VOGT, K. [1959] Über das Aussengeräusch kommerzieller Antennenanlagen (On the external noise of commercial antenna installations). *NTZ*, 12, 371.
- LAUBER, W. R. and BERTRAND, J. M. [28-30 June, 1977] Preliminary urban VHF/UHF radio noise intensity measurements in Ottawa, Canada. Proc. 2nd Symposium on Electromagnetic Compatibility, Montreux, Switzerland, 357-362 (IEEE Catalog No. 77CH1224-5EMC).
- MONTGOMERY, G. F. [1954] A comparison of amplitude and angle modulation for narrow-band communication of binary-coded messages in fluctuation noise. *Proc. IRE*, Vol. 42, 447.
- SCIENCE COUNCIL OF JAPAN [1960] Compilation of data in Japan for atmospheric radio noise during the IGY, 1957/58. Japanese National Committee for IGY.
- SHAVER, H. N., HATFIELD, V. E. and HAGN, G. H. [1972] Man-made radio noise parameter identification task. Final Report, Contract N00039-71-A-0223, Standard Research Institute, Menlo Park, CA, USA (NTIS Order No. AD904405).
- SKOMAL, E. N. [1978] *Man-Made Radio Noise*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA.
- SPAULDING, A. D. [12-15 June, 1977] Stochastic modelling of the electromagnetic interference environment. Conf. Record, 42.2-114-42.2-123. IEEE International Conference on Communications (ICC '77), Chicago, ILL, USA (IEEE Catalog No. 77CH1209-6C SCB).
- SPAULDING, A. D. [1982] Atmospheric radio noise and its effects on telecommunication systems. *Handbook of Atmospherics*, Chapter 6. Ed. H. Volland, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- SPAULDING, A. D., ROUBIQUE, C. J. and CRICHLLOW, W. Q. [1962] Conversion of the amplitude-probability distribution function for atmospheric radio noise from one bandwidth to another. *NBS J. Res.*, Vol. 66D, 713.
- SPAULDING, A. D. and WASHBURN, J. S. [1985] Atmospheric radio noise: Worldwide levels and other characteristics. National Telecommunications and Information Administration Report 85-173 (NTIS Order No. PB85-212942).
- URSI [1962] The measurement of characteristics of terrestrial radio noise. Special Report No. 7. Elsevier, London, UK.
- URSI [1975] *Review of Radio Science 1972-1974*, Radio noise of terrestrial origin, 127-133. International Union of Radio Science, Brussels, Belgium.
- URSI [1978] *Review of Radio Science 1975-1977*, Interference environment, 57-66. International Union of Radio Science, Brussels, Belgium.
- URSI [1981] *Review of Radio Science 1978-1980*, EM noise and interference, E1-E13. International Union of Radio Science, Brussels, Belgium.
- URSI [1984] *Review of Radio Science 1981-1983*, Electromagnetic noise and interference, E1-E15. International Union of Radio Science, Brussels, Belgium.
-

INFORME 322-3 *

CARACTERÍSTICAS DEL RUIDO ATMOSFÉRICO RADIOELÉCTRICO Y APLICACIONES

(Programa de Estudios 29B/6)

(1963-1974-1982-1986)

NOTACIÓN

Cuando se utilizan símbolos literales en mayúsculas y en minúsculas, las letras mayúsculas indican las relaciones en decibelios de las magnitudes designadas por las mismas letras en minúsculas.

A	Amplitud instantánea de la envolvente del ruido (dB)
A_{ef}	Valor eficaz de A (dB)
b, B	Anchura de banda efectiva del ruido en el receptor (Hz), ($B = 10 \log b$)
D	Desviación de una variable aleatoria con respecto a su valor mediano (dB)
D_l	Decilo inferior de la potencia media de ruido rebasada durante el 90% de las horas dentro de un bloque de tiempo (expresado en dB por debajo del valor mediano en el bloque de tiempo)
D_R	Decilo superior de la relación señal/ruido (valor en dB rebasado durante el 10% del tiempo)
D_S	Decilo superior de la potencia de la señal recibida (valor en dB rebasado durante el 10% del tiempo)
D_u	Decilo superior de la potencia media de ruido rebasada durante el 10% de las horas dentro de un bloque de tiempo (expresado en dB por encima del valor mediano en el bloque de tiempo)
DPA	Distribución de la probabilidad de amplitud de la envolvente del ruido recibido (probabilidad de rebasamiento)
E_e	Valor probable de la intensidad de campo de la señal requerida para un grado dado de servicio (dB(μ V/m))
E_n	Intensidad de campo eficaz del ruido para una anchura de banda b (dB(μ V/m))
f	Factor de ruido de funcionamiento de un sistema receptor
F	Valor en dB del factor de ruido de funcionamiento de un sistema receptor ($F = 10 \log f$)
f_a	Factor de ruido efectivo de antena que resulta de la potencia de ruido externo disponible en una antena sin pérdidas
F_a	Valor en dB del factor de ruido efectivo de antena ($F_a = 10 \log f_a$)
F_{am}	Mediana de los valores horarios de F_a en un bloque de tiempo
f_c	Factor de ruido del circuito de antena (su pérdida en potencia disponible)
f_{MHz}	Frecuencia (MHz)
f_r	Factor de ruido del receptor
f_l	Factor de ruido de la línea de transmisión (su pérdida en potencia disponible)
k	Constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K
K	Temperatura (grados Kelvin)
P	Potencia de la señal recibida disponible en una antena equivalente sin pérdidas (dBW)
P_e	Valor esperado de P (dBW)
p_n, P_n	Potencia de ruido disponible en una antena equivalente sin pérdidas ($P_n = 10 \log p_n$)
p_s, P_s	Potencia de la señal recibida requerida para una relación señal/ruido dada, en una antena sin pérdida ($P_s = 10 \log p_s$)
f_{dp}	Función de densidad de probabilidad
r, R	Valor requerido de la relación señal/ruido ($R = 10 \log r$)
R_m	Valor mediano de R
t	Desviación típica normal
T_a	Temperatura efectiva de la antena en presencia de ruido externo (K)
T_0	Temperatura de referencia 288 K

* La XVI Asamblea Plenaria (Dubrovnik, 1986) adoptó esta nueva versión del Informe 322 con el fin de facilitar los estudios que va a efectuar la Comisión de Estudio 6 (véase la Recomendación 372-4).

V_d	Desviación de tensión, es decir, la relación entre la tensión efectiva y la tensión media de la envolvente de ruido (dB)
V_{dm}	Valor mediano de V_d en el bloque de tiempo
σ_D	Desviación típica de D
σ_{Dl}	Desviación típica de D_l
σ_{Du}	Desviación típica de D_u
σ_{DR}	Desviación típica de D_R
σ_{Fam}	Desviación típica de F_{am}
σ_P	Desviación típica de la potencia probable de la señal recibida
σ_R	Desviación típica de R
σ_T	Desviación típica total; imprecisión total de P_e
σ_{V_d}	Desviación típica de V_d

1. Introducción

La determinación de la calidad de funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones y el consiguiente nivel mínimo de señal requerido para una recepción satisfactoria es una cuestión de tratamiento estadístico adecuado de los procesos de señal deseada y ruido (e interferencia) en condiciones reales. La calidad de funcionamiento del sistema depende, en gran medida, de las características estadísticas detalladas tanto de la señal como del ruido. Está admitido desde hace tiempo, que un enlace de radiocomunicaciones bien diseñado se ve normalmente limitado en última instancia por el ruido radioeléctrico.

Existen diversos tipos de ruido radioeléctrico que deben tenerse en cuenta en el diseño; no obstante, en general, predominará uno de ellos y será el factor decisivo en el diseño. A grandes rasgos, el ruido puede dividirse en dos categorías: ruido interno del sistema receptor y ruido externo que penetra en la antena receptora. El ruido interno se debe a pérdidas de antena y de línea de transmisión, o bien es generado en el propio receptor y tiene las características del ruido térmico (es decir, ruido blanco gaussiano). La potencia de ruido es por lo general el parámetro más significativo (pero rara vez suficiente) al relacionar el potencial de interferencia del ruido con la calidad de funcionamiento del sistema. Puesto que el nivel de ruido resulta a menudo de una combinación de ruidos interno y externo, es conveniente expresar el ruido resultante mediante un factor global de ruido de explotación que caracterice la calidad de funcionamiento de todo el sistema receptor. De esta manera, es posible tomar decisiones relativas a la sensibilidad requerida del sistema receptor; quiere decirse, que un receptor no tiene por qué tener más sensibilidad que la que venga impuesta por el ruido externo. Se han estimado a tal efecto niveles de ruido mínimo a escala mundial (Informe 670). Además, los niveles de ruido pueden entonces ser comparados con los niveles de la señal deseada para determinar la relación señal/ruido antes de la detección. La relación señal/ruido antes de la detección es un parámetro importante en el diseño de sistemas y su conocimiento es siempre necesario (necesario, pero rara vez suficiente) para determinar los efectos del ruido externo en la calidad de funcionamiento del sistema.

Se puede dividir el ruido externo en varios tipos, cada uno de los cuales tiene sus propias características. Los tipos de ruido más corrientes son los de origen atmosférico, galáctico y artificial. Todos estos tipos de ruido se estudian en el presente Informe, pero puesto que el ruido atmosférico es el que generalmente predomina en las frecuencias inferiores a unos 30 MHz, el Informe trata fundamentalmente de este tipo de ruido y de su influencia en la recepción de señales. Contrariamente al ruido interno, el ruido externo difiere mucho por lo general de la distribución gaussiana, siendo normalmente de carácter impulsivo.

Este Informe tiene por objeto presentar valores de la potencia de ruido y de otras características de ruido y exponer mediante ejemplos el procedimiento para utilizar estas características de ruido y sus variaciones estadísticas en la evaluación de la calidad de funcionamiento de un circuito radioeléctrico. En Spaulding [1982] pueden encontrarse otros ejemplos de la utilización de los datos relativos al ruido en este Informe y un resumen de los efectos del ruido atmosférico radioeléctrico (y de formas semejantes de ruido impulsivo) en la calidad de funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones. Por otra parte, los recientes resultados relativos al ruido atmosférico debido al rayo y los medios para desarrollar sistemas de comunicaciones apropiados que funcionen en este ruido se resumen en URSI [1981], en el Informe 254 y en las referencias del mismo. Por último, los Informes 258 y 670 facilitan información adicional sobre el ruido atmosférico y artificial, y la Recomendación 339 indica las relaciones entre la energía de la señal y la densidad espectral de potencia del ruido requeridas para diversos sistemas que funcionan en presencia de ruido atmosférico.

Las estimaciones de los niveles de ruido atmosférico dadas en este Informe se refieren al nivel medio de ruido de fondo debido a los rayos en ausencia de otras señales, radiadas intencionada o no intencionadamente. Además, el ruido debido a tormentas locales puede ser importante durante un porcentaje significativo del tiempo. Este ruido local puede también ser importante en frecuencias muy superiores a 30 MHz. En las publicaciones de Hagn y Shepherd [1984], Kotaki y Katoh [1983] y Kotaki [1984] hay información a propósito del ruido producido por las tormentas locales.

2. Estimaciones del ruido radioeléctrico

Este Informe presenta:

- estimaciones que tienen en cuenta programas importantes y fiables de mediciones de ruido;
- información estadística sobre la precisión de las estimaciones;
- una descripción estadística de la estructura fina del ruido;
- ejemplos de utilización de las estimaciones en la determinación de la calidad de funcionamiento de los sistemas.

Los datos utilizados se obtuvieron en las 16 estaciones que utilizaban un equipo de registro normalizado, el registrador de ruido radioeléctrico ARN-2, cuya utilización estaba a cargo de distintos organismos que participan en un programa de cooperación internacional [URSI, 1962], en el que tomaron parte una estación de medición de Tailandia que utilizaba equipo equivalente al ARN-2 y 10 estaciones de medición situadas en la Unión Soviética. La localización de las estaciones de medición se muestra en la fig. 1. En el análisis se utilizaron datos procedentes de las estaciones durante el periodo 1957 a 1966. No todas las estaciones proporcionaron datos a lo largo de todo el periodo. Los datos del hemisferio sur son escasos. En el trabajo de Spaulding y Washburn [1985] se dan detalles precisos sobre este conjunto de datos relativos a las mediciones a largo plazo del ruido radioeléctrico atmosférico, así como del análisis efectuado a propósito de los mismos.

Para estas predicciones, los datos se agruparon en cuatro estaciones del año y seis periodos de cuatro horas del día en cada estación. Se definió el bloque de tiempo como la suma de periodos correspondientes de cuatro horas del día durante toda una estación del año. Así pues, en el año hay 24 bloques cada uno de los cuales comprende unas 360 horas (cuatro horas diarias para unos noventa días).

La división del año en cuatro estaciones de tres meses cada una se hizo en la forma que a continuación se indica, si bien se tuvo en cuenta que las características estacionales existentes en las regiones templadas no correspondían necesariamente a las de latitudes más bajas en lo que respecta a las variaciones del ruido.

Meses	Estaciones	
	<i>Hemisferio septentrional</i>	<i>Hemisferio meridional</i>
Diciembre, enero, febrero	Invierno	Verano
Marzo, abril, mayo	Primavera	Otoño
Junio, julio, agosto	Verano	Invierno
Septiembre, octubre, noviembre	Otoño	Primavera

El principal parámetro utilizado es el valor horario mediano de la potencia media de ruido para cada bloque, y las variaciones de este parámetro indican las variaciones sistemáticas diurnas y estacionales del ruido. Se analizaron estadísticamente las variaciones de los valores horarios en un bloque.

Para facilitar la utilización de los datos de ruido de este Informe, se dispone de programas de computador en la Secretaría del CCIR que ofrecen una representación numérica «exacta» de todas las características de ruido contenidas en el mismo.

3. Descripción de los parámetros utilizados

Como se ha indicado más arriba, el parámetro básico y más importante del ruido es la potencia, si bien este parámetro (o cualquier otro considerado en sí mismo) casi nunca basta para determinar los efectos del ruido en la calidad del funcionamiento de los sistemas. Por ello, conviene expresar el ruido externo de forma que permita su combinación con el ruido interno, fijando así un umbral de ruido global de explotación para cualquier sistema receptor. En el Informe 670 se explica cómo se obtiene este umbral de ruido.

La potencia de ruido procedente de una fuente exterior a la antena puede expresarse como un factor de ruido efectivo de antena, f_a , definido por la fórmula:

$$f_a = p_n / kT_0 b = T_a / T_0 \quad (1)$$

en donde:

p_n : potencia disponible de ruido en una antena equivalente sin pérdidas (W),

k : constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K,

T_0 : temperatura de ruido de referencia, que se toma igual a 288 K,

b : anchura de banda efectiva del ruido en el receptor (Hz),

T_a : temperatura de ruido efectiva de la antena en presencia de ruido externo.

La ecuación (1) proporciona dos métodos equivalentes para especificar la potencia de ruido: por el factor de ruido efectivo o bien por la temperatura de ruido efectiva de la antena. Se ha supuesto un valor de $T_0 = 288$ K a fin de que el valor de $10 \log kT_0$ sea igual a -204 dB (con relación a 1 Julio).

Puesto que el ruido atmosférico tiene un espectro de banda ancha, tanto f_a como T_a son independientes de la anchura de banda (para anchuras de banda normales de comunicación). Obsérvese que f_a es una magnitud adimensional, por ser la relación entre dos potencias (o, de manera equivalente, de dos temperaturas). No obstante, la magnitud f_a da numéricamente la densidad espectral de potencia disponible en términos de kT_0 o la potencia disponible en términos de $kT_0 b$. El factor de ruido, f_a , viene dado normalmente por su expresión en decibelios, F_a , es decir, $F_a = 10 \log f_a$.

En este Informe, el valor del factor de ruido de antena, F_a (dB), corresponde a una antena vertical corta sin pérdidas sobre un suelo plano perfectamente conductor. En el Informe 670 y en sus referencias Hagn y Shepherd [1984] y Lauber y Bertrand [1977] se indica la manera de obtener el valor apropiado del factor de ruido de antena, F_a , para otros tipos de antenas a partir de los datos contenidos en este Informe. F_a está relacionado con el valor cuadrático medio de la componente vertical de la intensidad de campo (para una antena vertical corta) mediante la siguiente expresión:

$$E_n = F_a - 95,5 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 10 \log b \quad (2)$$

donde:

E_n : valor cuadrático medio de la intensidad de campo de ruido (dB(μ V/m)) para una anchura de banda b (Hz)

F_a : factor de ruido (dB) para la frecuencia central f_{MHz} (MHz).

El ruido eléctrico atmosférico se caracteriza por fluctuaciones de gran intensidad y rapidez, pero si se promedia la potencia de ruido en un periodo de varios minutos, los valores medios resultan ser casi constantes durante una hora dada, y las variaciones muy raramente sobrepasan ± 2 dB, excepto en los periodos del orto y del ocaso, o cuando existen tormentas locales. El registrador de ruido radioeléctrico ARN-2 proporcionó valores de la potencia media en ocho frecuencias durante quince minutos de cada hora, y se supone que los valores resultantes de F_a utilizados en el análisis representan los valores horarios. Se han formulado hipótesis similares para obtener los valores horarios de F_a en otras mediciones (sin el registrador ARN-2) utilizadas en el análisis.

Cuando se hacen las predicciones del nivel de ruido probable se tienen en cuenta directamente las tendencias sistemáticas, es decir, las tendencias durante las horas del día, la estación del año, la frecuencia y la ubicación geográfica. Existen otras variaciones de ruido que deben tenerse en cuenta estadísticamente. El valor de F_a para una hora dada varía de un día a otro a causa de los cambios aleatorios de la actividad tormentosa y de las condiciones de propagación. La mediana de los valores horarios en un bloque de tiempo (mediana del bloque) se designa por F_{am} . Las variaciones de esos valores horarios durante el bloque de tiempo pueden representarse por los valores sobrepasados durante el 10% y el 90% de las horas, expresados como desviaciones D_u y D_l con respecto a la mediana del bloque. En un gráfico de probabilidad normal (nivel en dB), la distribución de amplitud de las desviaciones, D , por encima de la mediana puede representarse con bastante precisión por una línea recta que pase por los valores de los decilos superior y mediano, y con otra línea correspondiente se pueden representar los valores inferiores a la mediana.

Es lógico suponer que existe alguna correlación entre el ruido radioeléctrico atmosférico y la actividad solar, ya que la fase del ciclo de actividad solar parece influir en las condiciones de propagación y en la formación de tormentas. Algunas mediciones a frecuencias muy bajas, efectuadas hace muchos años, parecieron mostrar esta correlación [Austin, 1932]. Un profundo examen de los datos obtenidos en Boulder, Colorado (1957-1966), no puso de manifiesto ninguna variación sistemática del ruido con la actividad solar.

Hasta ahora hemos considerado la potencia media, representada por F_a (o T_a), como el modo más útil y frecuente de especificar el nivel de ruido externo. Cuando interesa determinar la influencia del ruido externo en la calidad de funcionamiento de los sistemas, es casi siempre necesario que la información relativa al proceso de ruido recibido abarque más que su simple contenido (nivel) de energía. Una excepción a esta exigencia sería el caso en que el ruido externo fuera un proceso de ruido blanco gaussiano, pero casi nunca ocurre así. El ruido atmosférico (y el ruido industrial) tiene un comportamiento aleatorio. El hecho de que estemos trabajando con un proceso aleatorio significa que el ruido sólo podrá ser descrito en términos estadísticos o de probabilidades y que no podrá ser representado por una forma de onda determinística o por un conjunto de formas de onda determinísticas.

La descripción básica de cualquier proceso aleatorio es su función de densidad de probabilidad (fdp) o función de distribución. Casi siempre es necesario la fdp de primer orden del proceso de interferencia recibido a fin de determinar la calidad de funcionamiento del sistema (aunque a veces no es suficiente). El proceso de ruido atmosférico recibido, que aquí se examina, es un proceso de paso de banda en el sentido de que se puede describir mediante un proceso de envolvente y un proceso de fase. Puesto que el proceso de fase es conocido (fase distribuida uniformemente), la fdp requerida de la amplitud instantánea puede obtenerse a partir de la fdp de la amplitud de la envolvente. Por lo general, la fdp de la envolvente puede utilizarse directamente en los análisis de calidad de funcionamiento de los sistemas. El parámetro estadístico de la envolvente del ruido atmosférico viene normalmente dado (y medido) por una distribución acumulativa de rebasamiento, denominada Distribución de la Probabilidad de Amplitud (DPA). Para un determinado nivel de envolvente, A_i , la DPA es la fracción del tiempo total de medición, T , durante la cual la envolvente está por encima del nivel A_i .

Se ha medido un gran número de valores de la DPA en varios países, obteniéndose resultados bastante consistentes [URSI, 1962; Clarke, 1962; Science Council of Japan, 1960, véase también URSI, 1975, 1978, 1981, 1984 y sus referencias]. Para presentar los datos de forma que puedan ser utilizados en la explotación, conviene construir una familia de curvas ideales, una de las cuales se puede elegir para representar una DPA adecuada a la precisión requerida. Esto se ha hecho utilizando un sistema de coordenadas en el que la distribución Rayleigh (que representa la envolvente del ruido de tipo térmico) es una línea recta con una pendiente de -0.5 . Las partes de amplitud reducida de una curva de ruido atmosférico tienen esta misma pendiente, las de amplitud elevada se representan por una segunda línea recta de pendiente más pronunciada, y las dos líneas están unidas por un arco de círculo. Para trazar estas curvas es necesario utilizar magnitudes que estén en relación con valores logarítmicos medios, eficaces y promedios de la distribución, ya que son los parámetros registrados en las mediciones periódicas de ruido [Crichlow y otros, 1960a y 1960b]. Puesto que en la práctica existe una correlación estrecha entre la tensión media y la tensión logarítmica media, la relación entre el valor eficaz y la tensión media, V_d , (dB) será suficiente para determinar la curva que puede utilizarse para representar la distribución [Spaulding y otros, 1962]. En la fig. 27 se reproduce un conjunto de curvas de DPA que dan la probabilidad ($\times 100$) de que se rebase un nivel A_0 de la envolvente (con relación al valor eficaz de la envolvente, A_{ef}). La fig. 27 representa un «modelo» de DPA paramétrica para diversos valores del parámetro V_d . Se han desarrollado muchos otros modelos para estadísticas del ruido atmosférico; un resumen histórico de los diversos modelos más importantes y de sus interrelaciones figura en los estudios de Spaulding [1977 y 1982] y de Shaver y otros [1972]. La representación numérica (coeficientes y programas de computador) del modelo DPA de este Informe se encuentra en el estudio de Spaulding y Washburn [1985]. Debe tenerse en cuenta que el valor real de la potencia de ruido es un 50% del valor de la potencia de la envolvente (expresado por A_{ef}).

Las curvas de DPA (fig. 27) pueden ser utilizadas con una amplia gama de anchuras de banda. Las estimaciones de V_d dadas en este Informe, sin embargo, corresponden a una anchura de banda de 200 Hz, por lo que se precisa un sistema de conversión de esos valores de V_d a otras anchuras de banda. Herman y De Angelis [1987] realizaron un amplio estudio a fin de obtener la relación entre V_d y la anchura de banda. La fig. 26 da los resultados de este estudio, así como la manera de convertir los valores de V_d para 200 Hz a los correspondientes valores de V_d para otras anchuras de banda. Los resultados de la fig. 26 son válidos únicamente para frecuencias de la banda de ondas hectométricas, si bien de recientes estudios se desprende su validez también para la banda de ondas decamétricas. Deberá por tanto actuarse con precaución cuando se apliquen estos resultados a frecuencias inferiores (es decir, ondas kilométricas, miriamétricas y hectokilométricas).

4. Métodos utilizados para obtener estimaciones

Se corrigieron los valores de F_a , registrados en las estaciones de medida antes mencionadas, con el fin de eliminar, en lo posible, los efectos del ruido artificial y de las señales no deseadas. Se consideró que los restantes valores representan las verdaderas condiciones de ruido radioeléctrico atmosférico. Se compararon los valores medianos, durante cada bloque de tiempo y a la frecuencia de 1 MHz, con los valores del Informe 322-2 obteniéndose las correcciones correspondientes. En el Informe de Spaulding y Washburn [1985] se detalla la manera de obtener los valores a 1 MHz de la totalidad de mediciones y a todas las frecuencias de medida, así como los procedimientos de interpolación numérica y aplicación utilizados para obtener los valores a escala mundial de F_{om} a 1 MHz para cada bloque de tiempo.

Para obtener la variación de F_{am} con la frecuencia (es decir, para frecuencias distintas de 1 MHz) sólo se utilizaron datos procedentes de estaciones de medición que empleaban el equipo ARN-2. Un análisis de estos datos reveló que no hay diferencia significativa con respecto a las variaciones de frecuencia dadas en el Informe 322-2. Otro tanto puede decirse de las desviaciones, D_u y D_l , del valor decilo de F_a con respecto al valor mediano F_{am} para cada bloque de tiempo, así como del valor mediano, V_{dm} , de la desviación de tensión, V_d .

A fin de tener una medida de la variabilidad del ruido con respecto a los valores predichos para cada bloque de tiempo, se obtuvieron los valores de las desviaciones típicas de F_{am} , D_u , D_l y V_d en función de la frecuencia.

5. Los datos del ruido o estimaciones

En las figs. 2a-25a se reproducen mapas mundiales con los valores medianos probables del ruido radioeléctrico, F_{am} (dB), por encima de kT_0b , a 1 MHz para cada estación y bloques de tiempo de 4 h (hora local). La única variación geográfica dada corresponde a F_{am} a 1 MHz. Las figs. 2b a 25b muestran la variación de F_{am} con la frecuencia para cada estación — bloque de tiempo y las figs. 2c a 25c muestran la variación con la frecuencia de los otros parámetros del ruido.

En las curvas de frecuencia se indican niveles de ruido galáctico de los datos de Cottony y Johler [1952] y comprobados mediante una antena vertical (figs. 2b a 25b). Dentro de una variación con el tiempo de ± 2 dB (despreciando el apantallado ionosférico) los valores indicados serán el límite superior del ruido galáctico, pero en cualquier situación dada el ruido recibido debe determinarse considerando las frecuencias críticas y las propiedades directivas de la antena.

En muchos lugares, y a ciertas frecuencias, el ruido artificial limita las posibilidades de radiocomunicación por lo menos durante parte del tiempo. Si bien este tipo de ruido depende de las condiciones locales, se incluye una curva de valores previstos para un punto de recepción tranquilo. La curva indica los valores «promedios» de ruido artificial registrados en lugares especialmente elegidos para asegurar un mínimo de ruido artificial (en lugares con registrador de ruido radioeléctrico ARN-2). En el Informe 258 se indican los niveles de ruido artificial en términos de F_a y sus variaciones para diversas clases de ambientes (comercial, residencial, rural y rural tranquilo, etc.). Los niveles de ruido para lugares «rurales tranquilos» indicados en el Informe 258 se toman de este Informe. En Hagn [1982], Skomal [1978] y URSI [1975, 1978, 1981, 1984] se presenta información adicional resumida sobre ruido artificial.

Se observará que se indican valores de ruido atmosférico inferiores a los niveles probables de ruido artificial y galáctico. Estas cifras deberán emplearse con precaución, puesto que no representan más que estimaciones de los niveles de ruido atmosférico que se registrarían en ausencia de los otros tipos de ruido. No obstante, un examen de los datos muestra que esos niveles bajos de ruido se midieron de hecho en muy pocas ocasiones.

En las figs. 2c a 25c se incluyen los valores calculados de D_u , D_l , V_{dm} , σ_{D_u} , σ_{D_l} , σ_{V_d} y $\sigma_{F_{am}}$. D_u se utilizará normalmente para evaluar las mínimas intensidades de señal requeridas, pero D_l puede ser necesario para determinar si es despreciable el ruido interno de un sistema de recepción cuando las condiciones de ruido externo son más favorables.

La variación de F_{am} con la frecuencia (figs. 2b a 25b) viene dada por una cartografía numérica de los mínimos cuadrados de la totalidad de los datos del ARN-2 para todas las frecuencias de medición [Spaulding y Washburn, 1985]. El parámetro $\sigma_{F_{am}}$ representa, en función de la frecuencia, la variación de los datos de F_{am} en torno a los valores «cartografiados» (o estimados). Se observará que las curvas para $\sigma_{F_{am}}$ llegan sólo hasta una frecuencia de 10 MHz, puesto que a frecuencias superiores el ruido predominante en muchos puntos de medida fue a menudo de origen galáctico.

En principio, se han obtenido curvas independientes para D_u , D_l , σ_{D_u} y σ_{D_l} con los datos procedentes de estaciones de medición situadas en las zonas tropical y templada. No se ha observado una diferencia estadística significativa entre las dos zonas, por lo que este Informe da una sola curva para la superficie total de la Tierra. Las curvas presentadas deben utilizarse con cierta precaución, especialmente a las frecuencias más altas.

En la fig. 27 pueden verse las curvas de la DPA correspondientes a diversos valores de V_d , en las cuales se toma como referencia la tensión eficaz de la envolvente A_{ef} . Los valores medidos de V_d varían en torno a los valores predichos de la mediana, V_{dm} , y su variación viene dada por σ_{V_d} . Los valores estimados de V_{dm} corresponden a una anchura de banda de 200 Hz. Los valores de V_{dm} para otras anchuras de banda pueden obtenerse a partir de la fig. 26. Como ya se indicó, esta conversión de anchuras de banda deberá hacerse con cierto cuidado a frecuencias más bajas (ondas miriámétricas y kilométricas).

Las figuras se utilizan como se indican a continuación. El valor de F_{am} para 1 MHz se obtiene a partir del mapa de ruido (figs. 2a a 25a) para la estación en consideración y con este valor como grado de ruido, el valor de F_{am} para la frecuencia requerida se determina a partir de las curvas de frecuencia (figs. 2b a 25b). Los parámetros de variabilidad ($\sigma_{F_{am}}$, D_u , σ_{D_u} , etc.) se obtienen para la frecuencia en cuestión a partir de las figs. 2c a 25c. Si se necesitan los valores de $D(=F_a - F_{am})$ o de σ_D para cualquier porcentaje (inferior al 50%) de tiempo distinto

del 10%, dichos valores pueden obtenerse trazando D_u y σ_{D_u} sobre un gráfico normal de probabilidades (con valores de ordenadas en dB) y trazando líneas rectas que pasen por 0 dB a los valores del 50% y del 10%, tal como se muestra en la fig. 28. Esto es, la potencia de ruido tiene una distribución logarítmica normal (por encima de 50%). Los valores para porcentajes superiores al 50% pueden obtenerse de la misma manera utilizando D_l y σ_{D_l} .

6. Aplicación de los datos de ruido a la evaluación de un sistema

No se pretende que este análisis sea completo; se considera conveniente, sin embargo, facilitar algunas indicaciones en cuanto a la forma en que pueden utilizarse los datos para el estudio de la calidad de funcionamiento de un sistema. En Spaulding [1982] y URSI [1975, 1978, 1981 y 1984] y en sus referencias, se presentan ejemplos de información adicionales.

Según se ha indicado más arriba, es conveniente expresar el ruido externo como un factor de ruido de antena, de tal modo que pueda ser combinado con el ruido generado en el propio sistema de recepción para dar un factor global de ruido de explotación, f (Informe 670) [Barsis y otros, 1961]. Si el receptor está libre de respuestas parásitas y todos los elementos anteriores al receptor están a la temperatura de referencia, T_0 , f viene dado por:

$$f = f_a - 1 + f_c f_l f_r \quad (3)$$

en donde:

f_c : factor de ruido de la antena (su pérdida en potencia disponible),

f_l : factor de ruido de la línea de transmisión (su pérdida en potencia disponible),

f_r : factor de ruido del receptor ($10 \log f_r$ es el valor habitual del factor de ruido del receptor).

El factor de ruido, f , es útil para determinar la relación entre la potencia de la señal, p_s , disponible en una antena libre de pérdidas, y la correspondiente relación señal/ruido, r , a la salida de frecuencia intermedia del receptor, puesto que:

$$p_s = f r k T_0 b \quad (4)$$

o

$$P_s = R + F + B - 204 \quad (5)$$

donde:

$$F = 10 \log f$$

$$B = 10 \log b, \text{ etc.}$$

Al calcular el factor de ruido, F , para utilizarle en la fórmula (5), es necesario considerar todos los parámetros de la ecuación (3). En muchos casos, sin embargo, predominará una fuente de ruido y, por tanto, sólo importará uno de los factores componentes del ruido. En frecuencias bajas puede utilizarse un sistema de recepción con malas características de ruido interno, dado que los valores de f_a son elevados y determinarán el valor de f . En general, F_a disminuirá al aumentar la frecuencia; para las frecuencias más elevadas, la antena será más eficaz y f_c se acercará a la unidad. En estas condiciones, f_l y/o f_r pueden llegar a ser importantes para determinar el valor de f (Informe 670).

La ecuación (5) se emplea para obtener la potencia media necesaria de la señal a partir de la relación requerida señal/ruido, R (dB). La relación R depende siempre de las características estadísticas detalladas de los procesos de ruido y señal. Para el ruido, la DPA (o las estadísticas derivables de ella) es casi siempre una información necesaria (pero a veces no suficiente). Además, puesto que la determinación de la calidad de funcionamiento del sistema entraña formular previsiones (estadísticamente) y como tales previsiones están sujetas a error, es frecuente definir la calidad de funcionamiento del sistema utilizando tres términos independientes: grado de servicio, disponibilidad en el tiempo y probabilidad de servicio [Barsis y otros, 1961; Spaulding, 1982].

6.1 *El grado de servicio* representa la calidad media de funcionamiento para un ruido y una señal estacionarios. Son ejemplos típicos de la probabilidad de símbolos erróneos con respecto a la relación señal/ruido en el caso de los sistemas digitales, el índice de nitidez con respecto a la relación señal/ruido, para los sistemas telefónicos, etc.

6.2 *La disponibilidad en el tiempo* es el porcentaje de tiempo durante el cual se consigue, como mínimo, un grado de servicio especificado.

6.3 *La probabilidad de servicio* es la probabilidad de que se consiga, como mínimo, un grado de servicio especificado en el tiempo de disponibilidad especificado. Se trata del factor de confianza estadística «normal», necesario para cualquier descripción estadística.

Cuando se ha definido la calidad de funcionamiento deseada de un sistema, es preciso evaluar los diversos factores que en ella influyen. Para mayor claridad y sencillez, se evaluará la calidad en los dos siguientes ejemplos en función de las características de potencia de la señal disponible y del ruido en los terminales de una antena receptora equivalente sin pérdidas. Se supondrá en ambos ejemplos que la antena empleada es una varilla vertical corta y que el ruido predominante es atmosférico, exterior al sistema. En el primer ejemplo, se ha supuesto una propagación por onda de superficie, de manera que sea constante el nivel de la señal y sólo varíe el ruido. En el segundo ejemplo, la propagación es ionosférica y, por consiguiente, tanto la señal como el ruido son variables en el tiempo. En ambos ejemplos, la variación de la potencia de ruido es logarítmico-normal (es decir, valores en dB distribuidos normalmente) y la potencia de la señal es también logarítmico-normal (pero constante, con varianza cero, en el primer ejemplo), que da lugar por tanto a una relación señal/ruido, r , también logarítmico-normal. Esto significa que pueden seguirse los procedimientos normales (basados en la distribución normal) para determinar los factores de confianza estadísticos (probabilidad de servicio). En la determinación de la probabilidad de servicio intervienen, no solamente las incertidumbres asociadas a los parámetros de ruido, sino también las incertidumbres de todos los valores presentes en el proceso de predicción.

6.4 Ejemplo I

Determinar las características de un sistema binario simétrico y no coherente, con modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF); el punto de recepción se situó en Ginebra (Suiza) y las condiciones fueron las siguientes:

Frecuencia: 50 kHz
 Horas del día: 2000-2400 hora local
 Estación del año: verano
 Anchura de banda: 100 Hz
 Propagación: onda de superficie (que proporciona una señal constante)
 Grado del servicio: probabilidad de bits erróneos de 5×10^{-4} . Esto corresponde aproximadamente a un 1% de errores de teletipo en un sistema arrítmico de 5 unidades.

El problema consiste en evaluar la probabilidad de que una potencia de señal recibida dada proporcione el especificado grado de servicio para cualquier porcentaje de tiempo dado.

Según la ecuación (5) el valor esperado (valor mediano) de la potencia recibida, P_e , necesaria para obtener un determinado grado de servicio, para un factor de ruido externo dado, F_a viene dado por:

$$P_e = F_a + R + B - 204 \quad \text{dBW} \quad (6)$$

en donde R es la relación señal/ruido requerida antes de la detección (dB) para la anchura de banda dada.

Cuando la antena receptora es una varilla vertical corta sobre terreno plano, la correspondiente intensidad de campo E_e , viene dada por:

$$E_e = P_e + 20 \log f_{\text{MHz}} + 108,5 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (7)$$

El primer paso consiste en determinar el valor requerido de R (y su variación). De acuerdo con Montgomery [1954], tenemos los siguientes resultados para cualquier ruido aditivo arbitrario que sea independiente de un periodo de integración (longitud de bits) al siguiente y cuya fase esté distribuida uniformemente. Para el sistema binario simétrico y no coherente con modulación por desplazamiento de frecuencia, la probabilidad de un bit erróneo viene dada por el 50% de la probabilidad de que la envolvente del ruido rebese la envolvente de la señal. Así pues, la relación necesaria señal/ruido puede obtenerse directamente a partir de la DPA (fig. 27) para la correspondiente V_d . Según la fig. 19c, el valor de V_{dm} a 50 kHz es de 8,5 dB para una anchura de banda de 200 Hz, siendo el valor de σ_{V_d} de 1,2 dB. Utilizando la fig. 26 para hacer la conversión a la banda de frecuencias de 100 Hz, se tiene para V_d un margen de variación entre 6,6 y 8,9 dB (con la banda de frecuencias de 200 Hz, el margen de variación de V_d es de 7,3 a 9,7 dB); el valor de V_{dm} a 100 Hz es de 7,7 dB. Las curvas DPA pueden emplearse directamente para determinar el valor mediano requerido de la relación señal/ruido (R) y su variación. Puede consultarse también sobre el particular [Akima y otros, 1969] en donde se dan, para diversos valores de V_d , las características de probabilidad de bits erróneos con respecto a la relación señal/ruido (empleando las DPA de la fig. 27 de este Informe). El valor de R para $V_d = 7,7$ es de 20,3 dB, con una variación de aproximadamente 0,8 dB basada en el antedicho margen esperado de V_d , esto es, $\sigma_R = 0,8$ dB. Téngase en cuenta [Akima y otros, 1969] que si la señal tuviera un desvanecimiento del tipo Rayleigh, el valor requerido de R sería de 28 dB y σ_R sería igual a 0 dB, puesto que cuando la probabilidad de error es pequeña, su valor es independiente de V_d . No ocurre así con otras formas de desvanecimiento (por ejemplo, logarítmico-normal) o si se emplea recepción por diversidad. En estos casos, la probabilidad de error depende mucho de la DPA (es decir, V_d).

Hay que obtener ahora F_a añadiendo al valor mediano F_{am} una desviación D correspondiente al porcentaje de tiempo durante el cual debe obtenerse un servicio satisfactorio (la disponibilidad en el tiempo). Según la fig. 19a, el valor a 1 MHz es de 74 dB y el valor de F_{am} a 50 kHz es de 133 dB con una desviación típica $\sigma_{F_{am}}$ de 3,4 dB (figs. 19b, 19c). Para obtener valores de F_a durante porcentajes de tiempo distintos del 50% (dado por F_{am}), se emplea D_u (6,4 dB según la fig. 19c), obteniéndose $D = F_a - F_{am}$ tal como se muestra en la fig. 28. Igualmente σ_D se obtiene utilizando σ_{D_u} (1,9 dB en la fig. 19c), como se indica también en la fig. 28.

A continuación se calcula la ecuación (6) (con $F_a = F_{am} + D$) utilizando el valor de D adecuado para la disponibilidad en el tiempo requerida. Mediante la ecuación (6), con $R = 20,3$ dB, $F_{am} = 133$ dB, y $B = 20$ dB, obtenemos:

$$P_e = D - 30,7 \quad \text{dBW} \quad (8)$$

Esta es la predicción común de la potencia de señal requerida (o intensidad de campo requerida en la ecuación (7)), para obtener el grado de servicio especificado con diversas disponibilidades en el tiempo. En la fig. 29 se muestra la potencia de señal requerida para diversos tiempos de disponibilidad. No obstante, puesto que no se han tenido en cuenta todavía las incertidumbres de la predicción, solamente la mitad de los circuitos satisfará las especificaciones de diseño.

Las incertidumbres que hay que considerar vienen dadas por las desviaciones típicas siguientes:

σ_P : error típico en la evaluación de la potencia receptora probable «constante». Tiene que deducirse de los datos de propagación y de otros datos, y para los fines de este ejemplo se supone que es de 2 dB,

σ_R : incertidumbre en la relación señal/ruido requerida; 0,8 dB según se dedujo más arriba,

$\sigma_{F_{am}} = 3,4$ dB (fig. 19c),

σ_D : desviación típica de D (de la fig. 28).

Puesto que no hay correlación entre los errores, la desviación típica resultante, σ_T , viene dada por:

$$\sigma_T^2 = \sigma_P^2 + \sigma_R^2 + \sigma_{F_{am}}^2 + \sigma_D^2 \quad (9)$$

σ_T aparece también en la fig. 29, y nos permite hacer una evaluación de la probabilidad de servicio (confianza) de que se obtendrá la disponibilidad en el tiempo indicada, como se expone a continuación.

Puesto que, como ya se indicó más arriba, sólo intervienen distribuciones logarítmico-normales, para cualquier valor dado de la potencia recibida, P , la disponibilidad en el tiempo viene determinada como una función de la probabilidad de servicio, mediante la siguiente ecuación:

$$t = (P - P_e) / \sigma_T \quad (10)$$

en donde t es la desviante típica normal. En la fig. 30, se dan los valores de t en función de la probabilidad de servicio.

Si solamente se requiere una probabilidad de 0,5 (confianza del 50%) de que se consiga una disponibilidad en el tiempo especificada, $t = 0$, $P = P_e$, y las potencias requeridas vendrán dadas por la fig. 29. Supongamos, sin embargo, que deseamos tener un 90% de confianza (probabilidad de servicio de 0,9) y que nuestro grado de servicio (probabilidad de bits erróneos de 5×10^{-4}) ha de conseguirse durante por lo menos un 90% del tiempo; entonces $t = 1,3$ (fig. 30), $\sigma_T = 4,45$ dB (fig. 29) y $P_e = 24,3$ dBW (fig. 29), de modo que, según la ecuación (10), la intensidad de señal necesaria es de $-18,5$ dBW. Por lo general, utilizando las ecuaciones (8) y (10) se obtiene:

$$P = D - 30,7 + t \sigma_T \quad (11)$$

En la fig. 31 se muestran los resultados para probabilidades de servicio de 0,5, 0,8, 0,9 y 0,99.

6.5 Ejemplo II

Determinar la calidad de funcionamiento de un sistema telefónico de clase A3E, con doble banda lateral, para recepción en Ginebra (Suiza) en las siguientes condiciones:

Frecuencia: 5 MHz

Horas del día: 2000-2400 hora local

Estación del año: verano

Anchura de banda: 6 kHz

Propagación: ionosférica (que produce desvanecimiento de la señal)

Grado de servicio: marginalmente comercial.

Una vez más, el problema consiste en evaluar la probabilidad de que una señal recibida dada proporcione al menos el grado de servicio especificado durante un porcentaje también dado de tiempo. Aquí, tanto la señal como el ruido atmosférico tienen variación estadística. Se observa normalmente que, para propagación ionosférica, la distribución a corto plazo (por ejemplo, durante una hora) de la señal es del tipo Rayleigh y que el desvanecimiento a largo plazo de los valores medianos (por ejemplo) horarios, es logarítmico-normal (Informe 266). En este ejemplo, la distribución normal resultante de los valores medianos de la señal (dB) tiene una desviación típica de 8 dB (Informe 266), lo que da lugar a un valor del decilo superior para la señal D_s , de $1,27 \times 8 = 10$ dB. Teniendo en cuenta la variación (indicada en el Informe 266) de la desviación típica de la distribución de desvanecimiento de la señal a largo plazo, se utiliza para σ_{D_s} un valor de 2 dB.

La Recomendación 339 da un valor mediano requerido de la relación de potencias portadora/ruido, en una banda de 1 Hz, de 64 dB, para emisiones de la clase A3E de calidad marginalmente comercial. Se obtiene, pues, un valor mediano requerido de la relación señal/ruido, R , de 26 dB. Tales valores requeridos de la calidad de funcionamiento para sistemas analógicos se basan en ruido blanco gaussiano. Por lo general, puede conseguirse una determinada inteligibilidad vocal con un valor de R menor en ruido impulsivo (por ejemplo, atmosférico) que en ruido blanco gaussiano [Spaulding, 1982]. La fig. 19c da un valor de V_{dm} de 4,5 dB a 5 MHz y una anchura de banda de 200 Hz, lo que equivale a $V_{dm} = 7,5$ dB con anchura de banda de 6 kHz (fig. 26). Spaulding [1982] da resultados para sistemas vocales con modulación de amplitud en ruido atmosférico ($V_d = 12$ dB), de los que se desprende que probablemente se puede reducir sin riesgo el valor mediano requerido de R (R_m) en aproximadamente 6 dB (al menos, suponiendo que no haya limitación de ruido). Así pues, se especificará un valor mediano R_m de 20 dB, con una desviación típica σ_R de 3 dB.

Como en el ejemplo I, el valor de F_{am} a 1 MHz para recepción en Ginebra durante junio, julio y agosto, y 2000-2400 h, es de 74 dB. Según las figs. 19b, 19c, el valor de F_{am} a 5 MHz es de 56 dB con una desviación típica $\sigma_{F_{am}}$ de 4,1 dB. También, según la fig. 19c, $D_u = 4,8$ dB y $\sigma_{D_u} = 1,3$ dB. Puesto que la relación señal/ruido tiene una distribución logarítmico-normal (como en el ejemplo I), se procederá como antes. El decilo superior para R viene dado por:

$$D_R^2 = D_s^2 + D_u^2 \quad (12)$$

ya que la señal y el ruido son independientes. Las desviaciones $D = R - R_m$ ($D_R = 11,1$ dB) y σ_D (utilizando un valor decilo dado por $\sigma_{D_R} = \sqrt{\sigma_{D_u}^2 + \sigma_{D_s}^2} = 2,4$ dB) se dan en la fig. 32.

La desviación D explica ahora la variación estadística a largo plazo de la potencia de la señal y de la potencia del ruido.

A fin de obtener la probabilidad de servicio, las incertidumbres de la predicción vienen dadas por las siguientes desviaciones típicas:

σ_P : desviación típica de la potencia esperada de la señal recibida. Se han especificado las distribuciones de los desvanecimientos a corto y a largo plazo de P , pero hay todavía un error de predicción del valor esperado debido, por ejemplo, a errores en el método empleado para predecir la propagación ionosférica. Se tomará un valor de 5 dB para σ_P .

σ_R : incertidumbre del valor requerido de R , de 3 dB según se vio antes;

$\sigma_{F_{am}} = 4,1$ dB (fig. 19c);

σ_D : desviación típica de D (fig. 32), que es función de la disponibilidad en el tiempo requerida.

La desviación típica σ_T se muestra en la fig. 33, así como el valor mediano esperado de la potencia de la señal recibida, P_e , para diferentes disponibilidades en el tiempo, que, de acuerdo con la ecuación (6), viene dada por:

$$P_e = F_{am} + R_m + D + B - 204 \quad (13)$$

$$P_e = D - 90,2 \quad \text{dBW}$$

Finalmente, la fig. 34 muestra la potencia requerida de la señal recibida en función de la disponibilidad en el tiempo para probabilidades de servicio de 0,5, 0,8, 0,9 y 0,99 utilizando, como en el ejemplo I, la expresión:

$$P = P_e + t \sigma_T \quad (14)$$

7. Influencia de la directividad y de la polarización de las antenas

Toda la información que acerca del ruido figura en este Informe, incluyendo los ejemplos dados en la última sección, se refiere a una antena receptora vertical corta. Aunque tales antenas pueden utilizarse en la práctica para bajas frecuencias, la comunicación a larga distancia en ondas decamétricas se consigue, por lo general, mediante el empleo de antenas muy directivas. Por consiguiente, debe tenerse en cuenta la influencia de la directividad y de la polarización de las antenas en la relación señal/ruido.

Se supone que se conoce suficientemente bien la ganancia de la señal, aunque dependa de la importancia relativa de los diversos modos de propagación, variable con el tiempo. El factor de ruido efectivo de la antena, que viene determinado por el ruido atmosférico, puede ser influido de distintas formas. Si las fuentes de ruido estuvieran distribuidas isotrópicamente, el factor de ruido sería independiente de las propiedades directivas de la antena. Sin embargo, en la práctica, la dirección acimutal del haz puede coincidir con la dirección de una zona en que predominan las tormentas, y el factor de ruido aumentará en comparación con la antena omnidireccional. Por otra parte, también puede ocurrir lo contrario. La directividad en el plano vertical puede ser tal que discrimine en favor o en contra de la recepción del ruido procedente de una fuente intensa. Puede esperarse un aumento de la variabilidad del ruido por el movimiento de las tormentas al entrar o salir del haz de la antena, aun cuando el valor medio de la intensidad permanezca invariable.

La información experimental que se tiene sobre la influencia de la directividad, es escasa y en algunos aspectos contradictoria. En una región ecuatorial (Singapur) se ha encontrado que el valor mediano de F_a para ciertas antenas directivas es un poco más elevado (unos 4 dB como término medio) que el correspondiente a una antena vertical de varilla en el mismo periodo de tiempo [Bradley y Clarke, 1964]. Esta cifra es muy inferior a la ganancia de antena máxima posible que podría preverse dada la distribución extendida de las tormentas, pero el hecho es que, como término medio, la ganancia de ruido encontrada con una gama amplia de condiciones tormentosas, sugiere que existía una tendencia a recibirse más ruido con menores ángulos de elevación. También en la República Federal de Alemania se hallaron factores de ruido más elevados con antenas directivas [Kronjäger y Vogt, 1959]. Para determinar los efectos de la directividad de la antena en la relación señal/ruido, es preciso tener en cuenta la localización de las tormentas y la frecuencia crítica de la ionosfera, además del diagrama de polarización de la antena. Se dispone ya de información bastante detallada sobre la localización de las tormentas [Kotaki y Katoh, 1983; Kotaki, 1984 y Crichlow y otros, 1971].

Se tienen menos datos de la influencia de la polarización de las antenas, pero cabe suponer, en primera aproximación, que los ruidos en la recepción son comparables en el caso de las dos polarizaciones cuando la altura de la antena es grande con relación a la longitud de onda. Hagn y otros [1968] y Hagn y Sheperd [1984] dan una información limitada sobre polarización (y directividad) para antenas «próximas» al terreno. Además, puede obtenerse información adicional en URSI [1975, 1978, 1981 y 1984], en particular en las referencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIMA, H., AX, G. G. y BEERY, W. M. [1969] Required signal-to-noise ratios for HF communication systems. ESSA Tech. Rep. ERL 131-ITS 92 (NTIS Order No. AD-697579).
- AUSTIN, L. W. [1932] Solar activity and radio telegraphy. *Proc. IRE*, Vol. 20, 280.
- BARSIS, A. P., NORTON, K. A., RICE, P. L. y ELDER, P. H. [1961] Performance predictions for single tropospheric communication links and for several links in tandem. NBS Tech. Note 102.
- BRADLEY, P. A. y CLARKE, C. [1964] Atmospheric radio noise and signals received on directional aerials at high frequencies. *Proc. IEE*, Vol. III, 1534-1540.
- CLARKE, C. [1962] Atmospheric radio noise studies based on amplitude probability measurements at Slough, England, during the International Geophysical Year. *Proc. IEE*, Vol. 109B, 393.
- COTTONY, H. V. y JOHLER, J. R. [1952] Cosmic radio noise intensities in the VHF band. *Proc. IRE*, Vol. 40, 1053.
- CRICHLLOW, W. Q., DAVIS, R. C., DISNEY, R. T. y CLARK, M. W. [1971] Hourly probability of world-wide thunderstorm occurrence. Office of Telecommunications Research Report OT/ITS RR 12 (NTIS Order No. COM75-11202).
- CRICHLLOW, W. Q., ROUBIQUE, C. J., SPAULDING, A. D. y BEERY, W. M. [1960a] Determination of the amplitude-probability distribution of atmospheric radio noise from statistical moments. *NBS J. Res.*, Vol. 64D, 49.
- CRICHLLOW, W. Q., SPAULDING, A. D., ROUBIQUE, C. J. y DISNEY, R. T. [1960b] Amplitude-probability distributions for atmospheric radio noise. NBS Monograph 23.
- HAGN, G. H. [1982] Man-made electromagnetic noise. *Handbook of Atmospherics*, capítulo 7. Ed. H. Volland, CRC Press, Boca Raton, FL, Estados Unidos de América.
- HAGN, G. H., CHINDAHPORN, R. y YARBOROUGH, J. M. [1968] HF atmospheric radio noise on horizontal dipole antennas in Thailand. Special Technical Report 47, Stanford Research Institute, Menlo Park, CA 94025, Estados Unidos de América (NTIS Order No. AD68-1879).

- HAGN, G. H. y SHEPHERD, R. A. [1984] Selected radio noise topics. Final Report, Contract NT83 RAC-36001, SRI-5002-FR/84 SRI International, Arlington, VA, Estados Unidos de América (NTIA Order No. PB 86 173218).
- HERMAN, J. R. y DE ANGELIS, X. A. [enero-febrero de 1987] Bandwidth expansion effects on the voltage deviation parameter V_d of MF and HF atmospheric radio noise. *Radio Sci.*, Vol. 22, 1, 26-36.
- KOTAKI, M. [1984] Global distribution of atmospheric radio noise derived from thunderstorm activity. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 46, 10, 867-877.
- KOTAKI, M. y KATOH, C. [1983] The global distribution of thunderstorm activity observed by the Ionospheric Sounding Satellite (ISS-b). *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 45, 12, 833-847.
- KRONJÄGER, W. y VOGT, K. [1959] Über das Aussengeräusch kommerzieller Antennenanlagen (Ruidos atmosféricos en sistemas de antenas del servicio fijo). *NTZ*, 12, 371.
- LAUBER, W. R. y BERTRAND, J. M. [28-30 de junio de 1977] Preliminary urban VHF/UHF radio noise intensity measurements in Ottawa, Canada. Proc. 2nd Symposium on EMC, Montreux, Suiza, 357-362 (IEEE Catalog No. 77CH1224-5EMC).
- MONTGOMERY, G. F. [1954] A comparison of amplitude and angle modulation for narrow-band communication of binary-coded messages in fluctuation noise. *Proc. IRE*, Vol. 42, 447.
- SCIENCE COUNCIL OF JAPAN [1960] Compilation of data in Japan for atmospheric radio noise during the IGY, 1957/58. Japanese National Committee for IGY.
- SHAVER, H. N., HATFIELD, V. E. y HAGN, G. H. [1972] Man-made radio noise parameter identification task. Final Report, Contract N00039-71-A-0223, Standard Research Institute, Menlo Park, CA, Estados Unidos de América (NTIS Order No. AD904405).
- SKOMAL, E. N. [1978] *Man-Made Radio Noise*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, Estados Unidos de América.
- SPAULDING, A. D. [12-15 de junio de 1977] Stochastic modelling of the electromagnetic interference environment. Conf. Record, 42.2-114-42.2-123. IEEE International Conference on Communications (ICC '77), Chicago, ILL, Estados Unidos de América (IEEE Catalog No. 77CH1209-6C SCB).
- SPAULDING, A. D. [1982] Atmospheric radio noise and its effects on telecommunication systems. *Handbook of Atmospherics*, Capítulo 6. Ed. H. Volland, CRC Press, Boca Raton, FL, Estados Unidos de América.
- SPAULDING, A. D., ROUBIQUE, C. J. y CRICHLLOW, W. Q. [1962] Conversion of the amplitude-probability distribution function for atmospheric radio noise from one bandwidth to another. *NBS J. Res.*, Vol. 66D, 713.
- SPAULDING, A. D. y WASHBURN, J. S. [1985] Atmospheric radio noise: Worldwide levels and other characteristics. National Telecommunications and Information Administration Report 85-173 (NTIS Order No. PB85-212942).
- URSI [1962] The measurement of characteristics of terrestrial radio noise. Special Report No. 7. Elsevier, Londres, Reino Unido.
- URSI [1975] *Review of Radio Science 1972-1974*, Radio noise of terrestrial origin, 127-133. Unión Radiocientífica Internacional, Bruselas, Bélgica.
- URSI [1978] *Review of Radio Science 1975-1977*, Interference environment, 57-66. Unión Radiocientífica Internacional, Bruselas, Bélgica.
- URSI [1981] *Review of Radio Science 1978-1980*, EM noise and interference, E1-E13. Unión Radiocientífica Internacional, Bruselas, Bélgica.
- URSI [1984] *Review of Radio Science 1981-1983*, Electromagnetic noise and interference, E1-E15. Unión Radiocientífica Internacional, Bruselas, Bélgica.

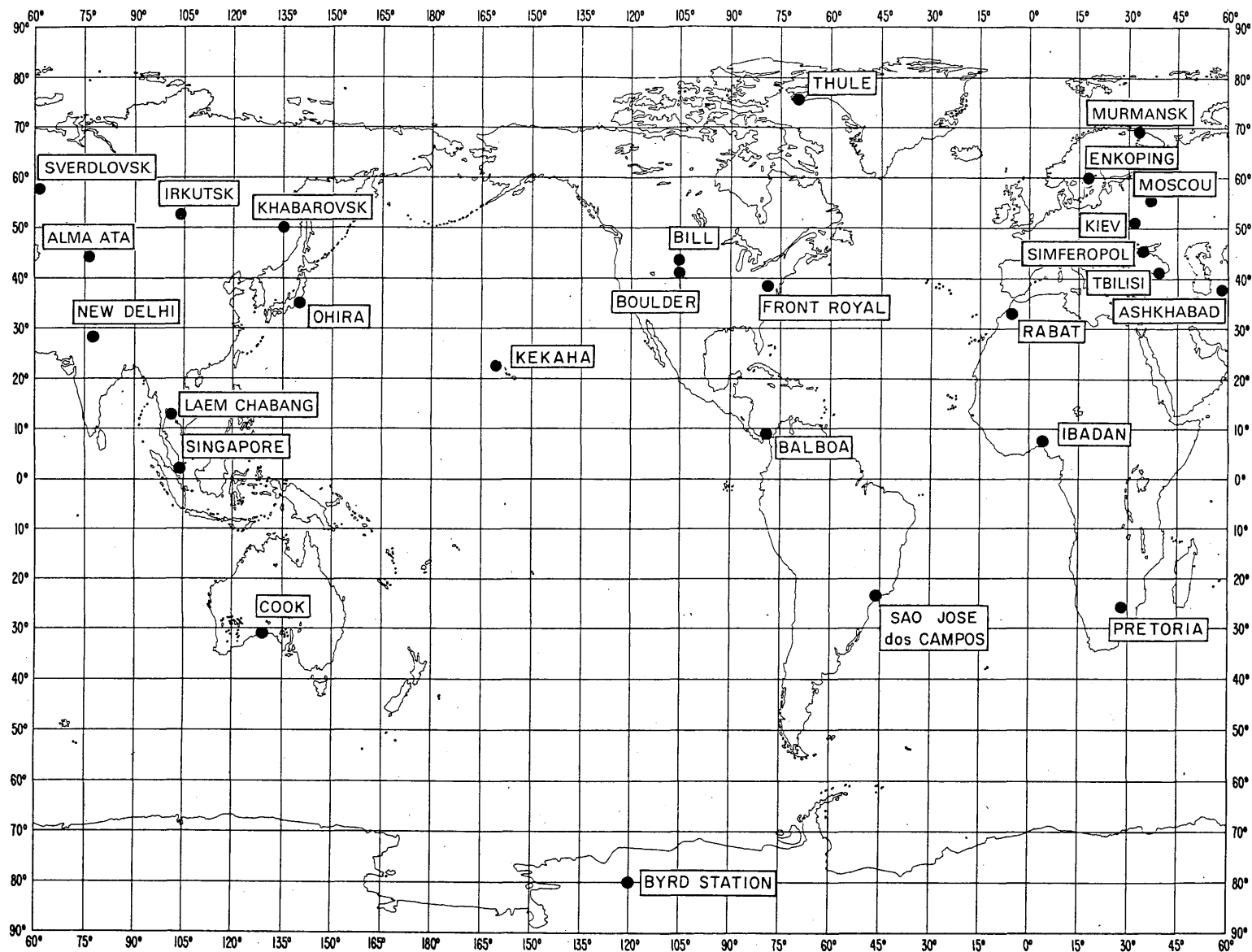


FIGURE 1 - Stations qui ont fourni des données de bruit radioélectrique

FIGURE 1 - Stations which provided radio noise data

FIGURA 1 - Estaciones de medida que han suministrado datos del ruido radioeléctrico

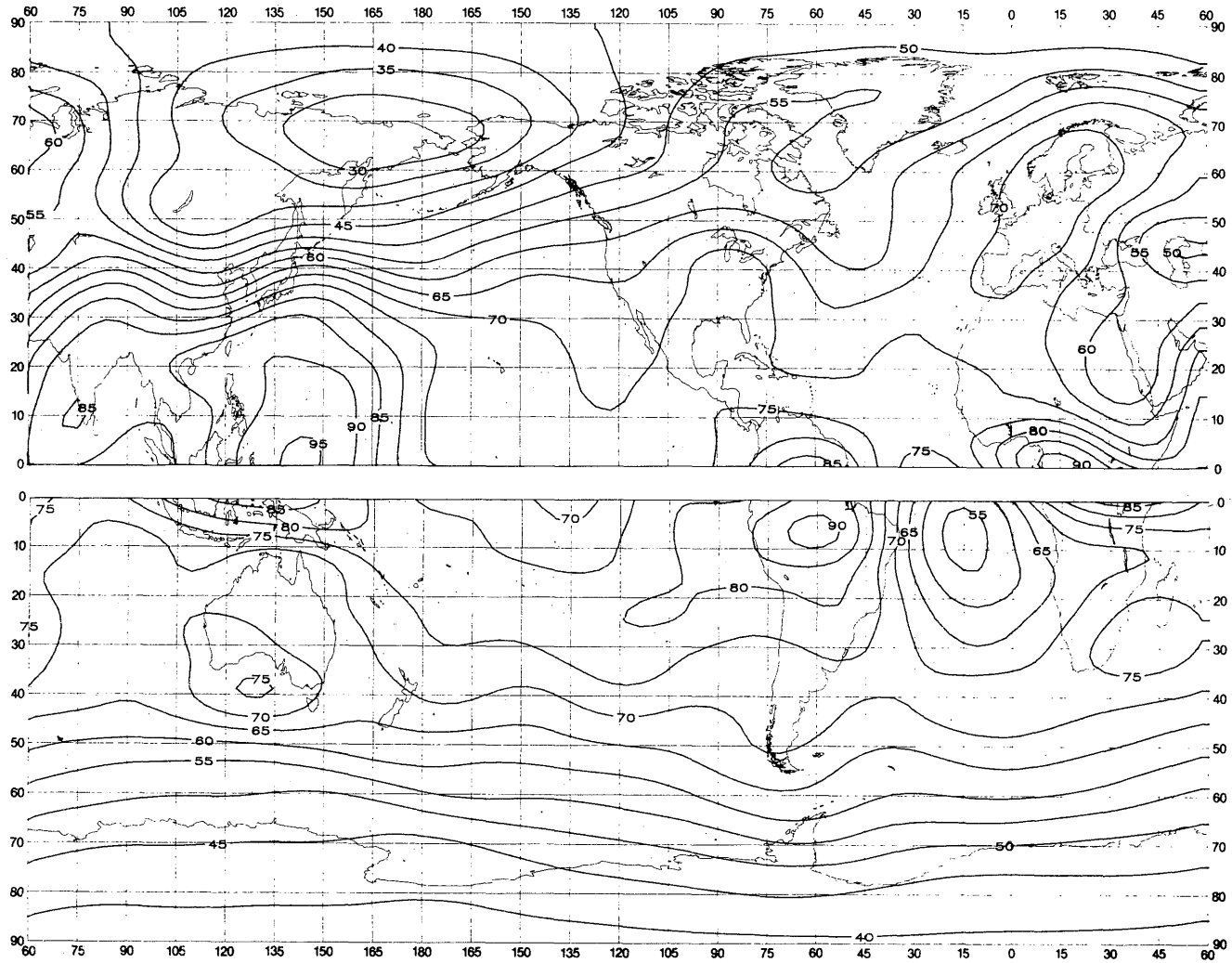


FIGURE 2a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Hiver; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 2a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Winter; 0000-0400 LT)

FIGURA 2a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Invierno; 0000-0400 hora local)

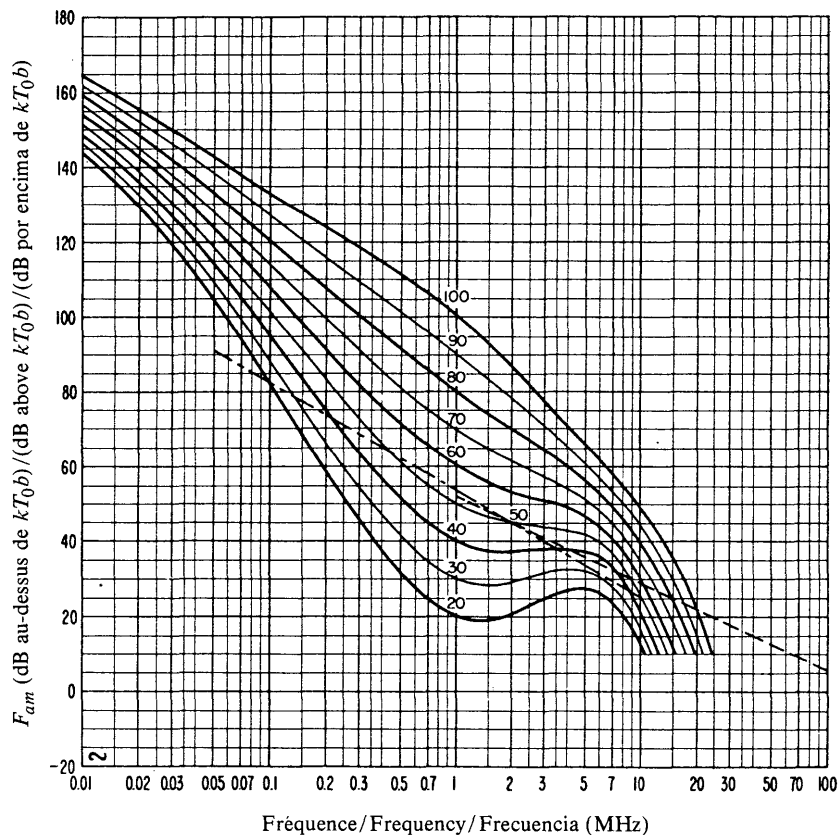


FIGURE 2b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Hiver; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 2b — Variation of radio noise with frequency (Winter; 0000-0400 LT)

FIGURA 2b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Invierno; 0000-0400 hora local)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique/Expected values of atmospheric noise/Valores probables del ruido atmosférico
- Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme/Expected values of man-made noise at a quiet receiving location/Valores probables del ruido artificial en un punto de recepción tranquilo
- Valeurs attendues du bruit galactique/Expected values of galactic noise/Valores probables del ruido galáctico

Note. — Pour des raisons d'ordre pratique, le point anglais a été utilisé dans cette version trilingue au lieu de la virgule décimale.

Nota. — Por razones prácticas se ha utilizado un punto en lugar de una coma para indicar las cifras decimales.

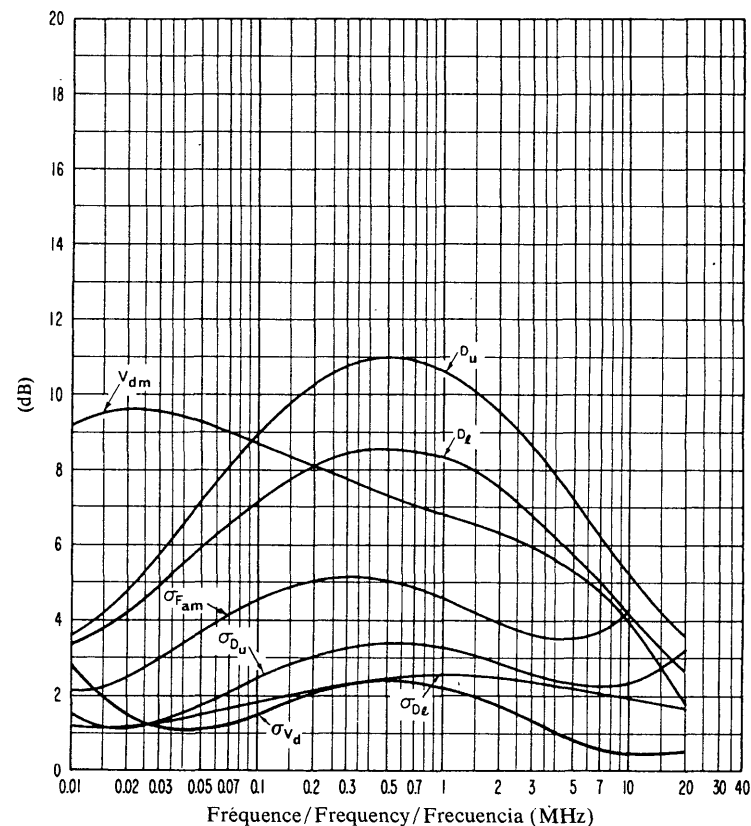


FIGURE 2c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Hiver; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 2c — Data on noise variability and character (Winter; 0000-0400 LT)

FIGURA 2c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Invierno; 0000-0400 hora local)

- $\sigma_{F_{am}}$ — Ecart type des valeurs de F_{am} /Standard deviation of values of F_{am} /Desviación típica de los valores de F_{am}
- D_u — Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de F_{am} /Ratio of upper decile to median value, F_{am} /Relación del decilo superior al valor mediano, F_{am}
- σ_{D_u} — Ecart type des valeurs de D_u /Standard deviation of values of D_u /Desviación típica de los valores de D_u
- D_l — Rapport de la valeur médiane de F_{am} au décile inférieur/Ratio of median value, F_{am} , to lower decile/Relación del valor mediano F_{am} al decilo inferior
- σ_{D_l} — Ecart type des valeurs de D_l /Standard deviation of value of D_l /Desviación típica de los valores de D_l
- V_{dm} — Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)/Expected value of median deviation of average voltage. The values shown are for a bandwidth of 200 Hz/Valor probable de la desviación mediana de la tensión media (valores para una anchura de banda de 200 Hz)
- σ_{V_d} — Ecart type de V_d /Standard deviation of V_d /Desviación típica de V_d

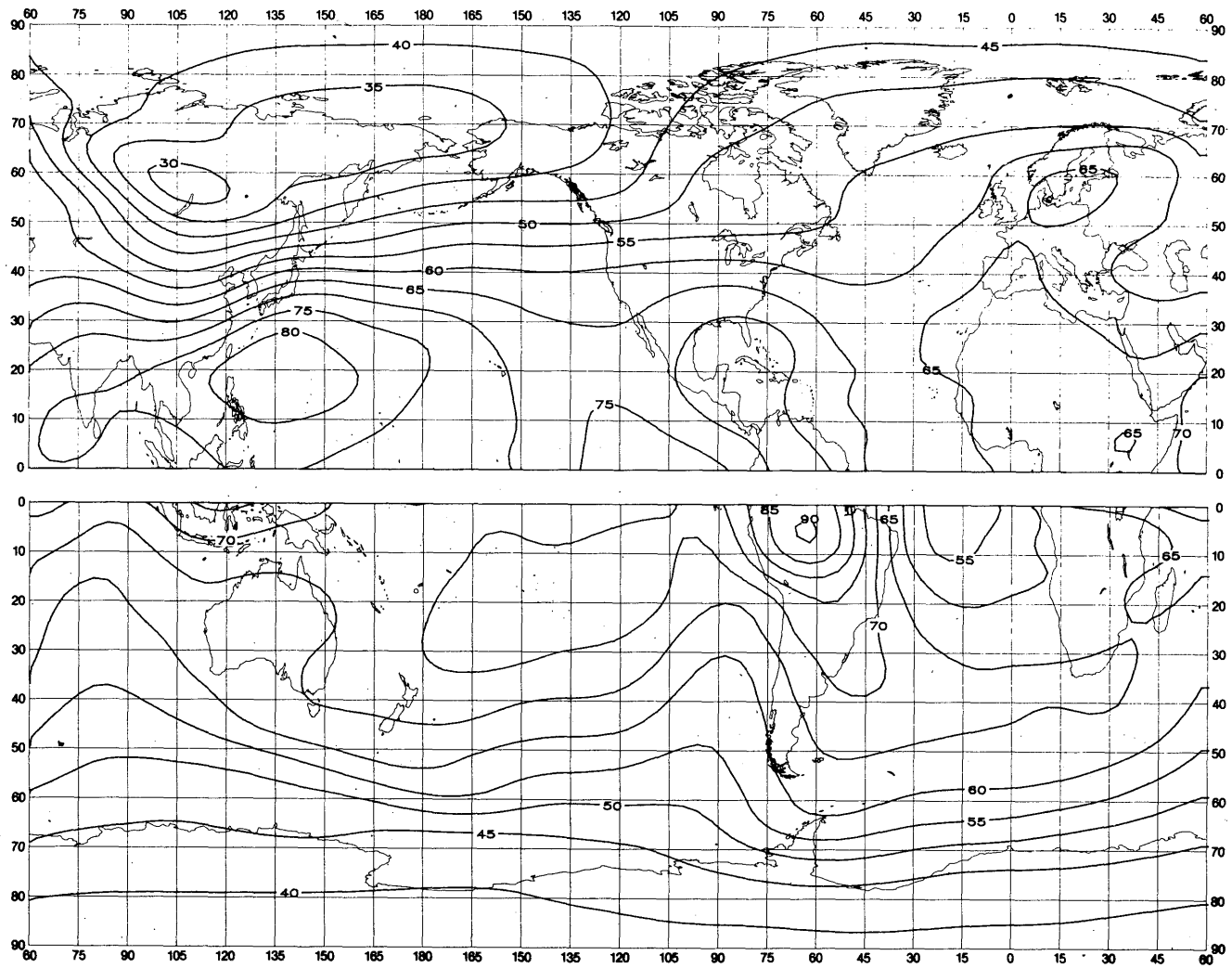


FIGURE 3a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Hiver; 0400-0800 heure locale)

FIGURE 3a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Winter; 0400-0800 LT)

FIGURA 3a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Invierno; 0400-0800 hora local)

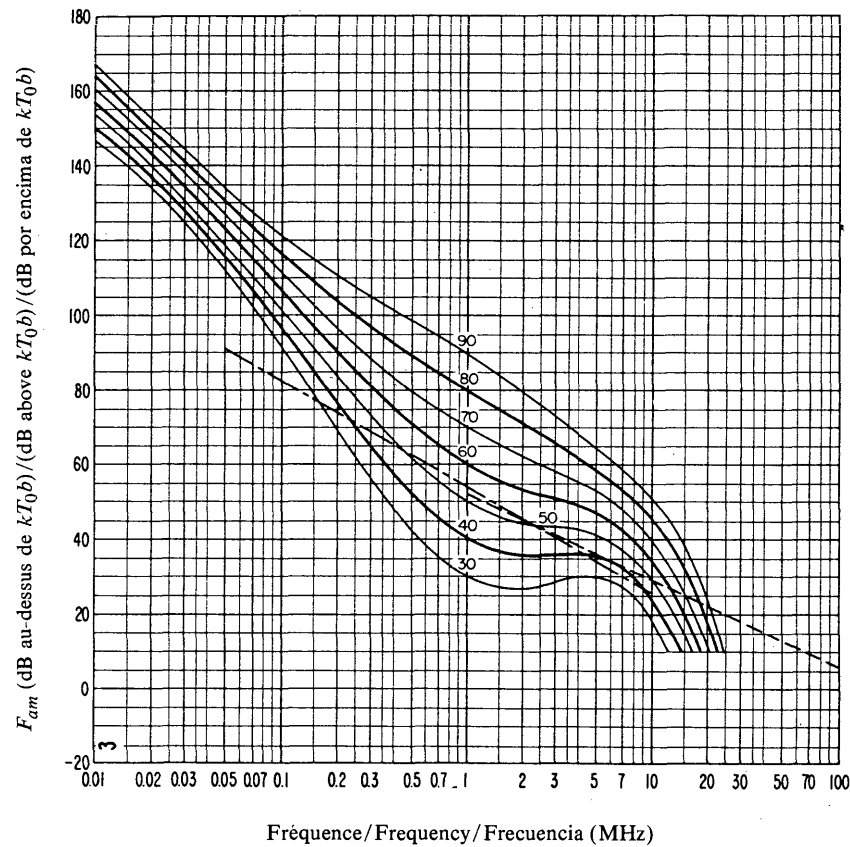


FIGURE 3b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Hiver; 0400-0800 heure locale)
FIGURE 3b — Variation of radio noise with frequency
(Winter; 0400-0800 LT)
FIGURA 3b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Invierno; 0400-0800 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

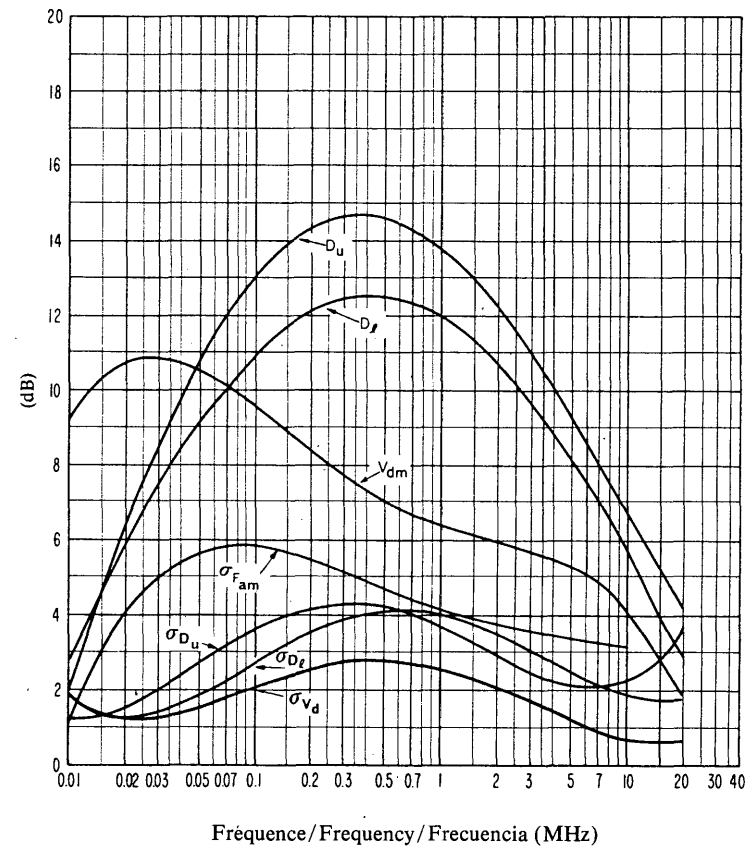


FIGURE 3c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Hiver; 0400-0800 heure locale)
FIGURE 3c — Data on noise variability and character
(Winter; 0400-0800 LT)
FIGURA 3c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Invierno; 0400-0800 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

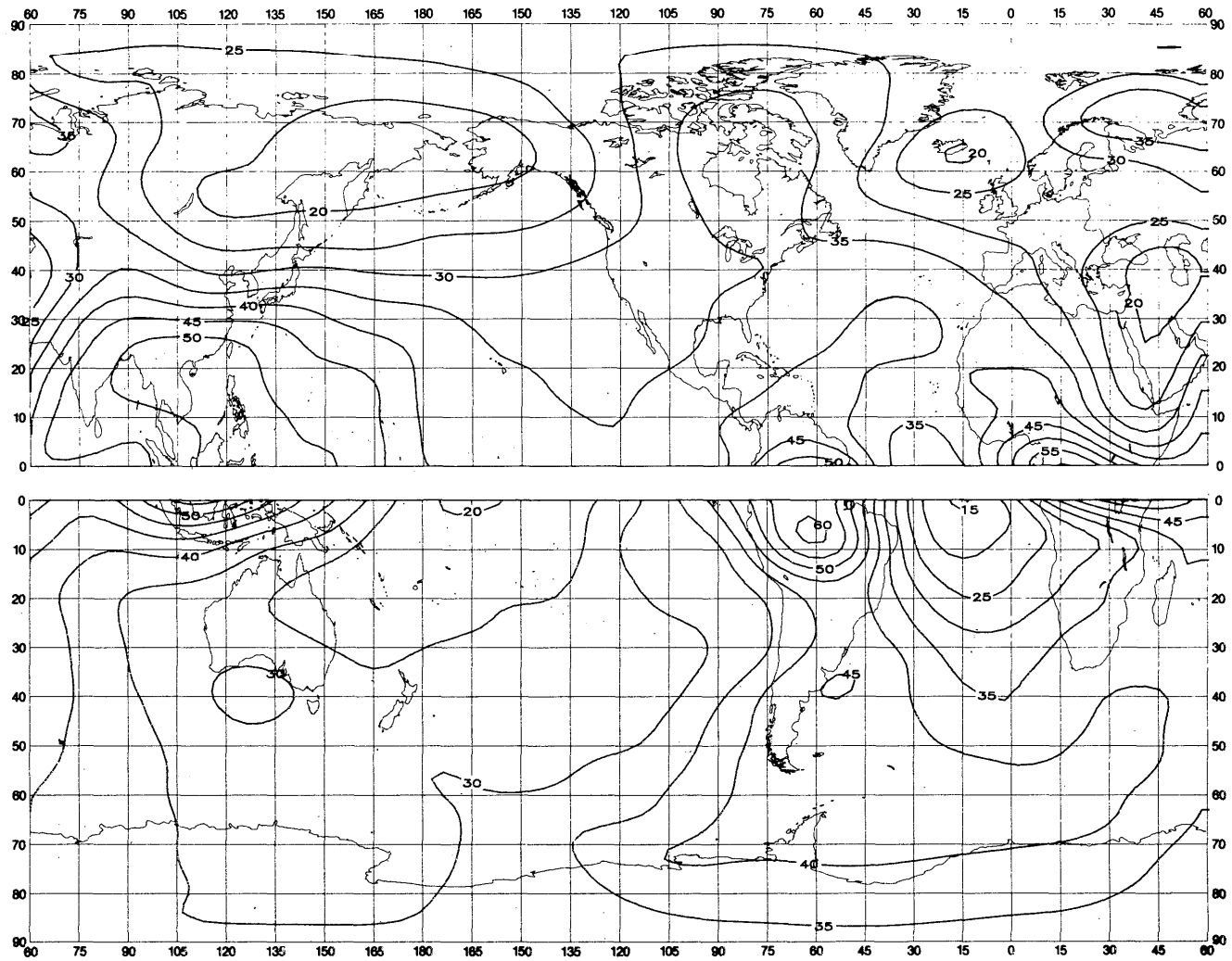


FIGURE 4a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Hiver; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 4a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Winter; 0800-1200 LT)

FIGURA 4a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Invierno; 0800-1200 hora local)

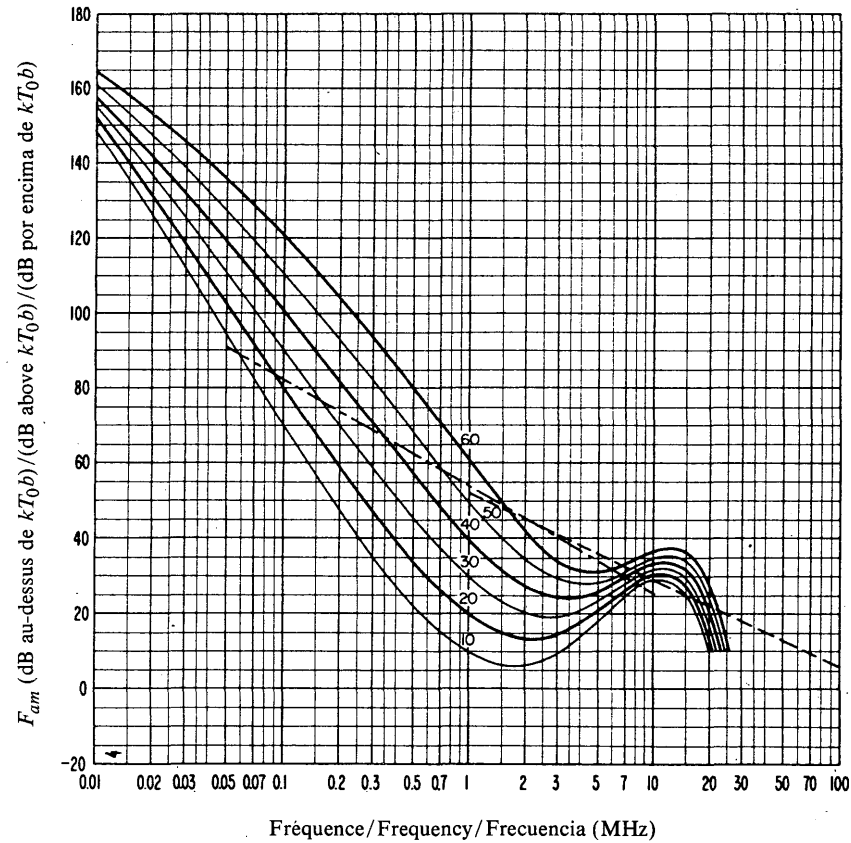


FIGURE 4b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Hiver; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 4b — Variation of radio noise with frequency
(Winter; 0800-1200 LT)

FIGURA 4b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Invierno; 0800-1200 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

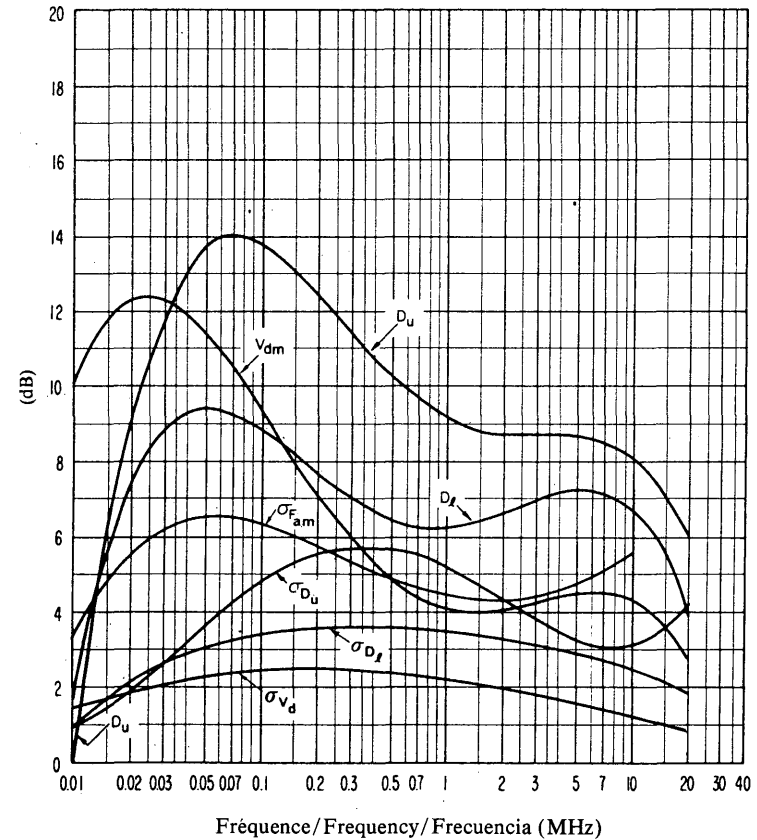


FIGURE 4c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Hiver; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 4c — Data on noise variability and character
(Winter; 0800-1200 LT)

FIGURA 4c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Invierno; 0800-1200 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

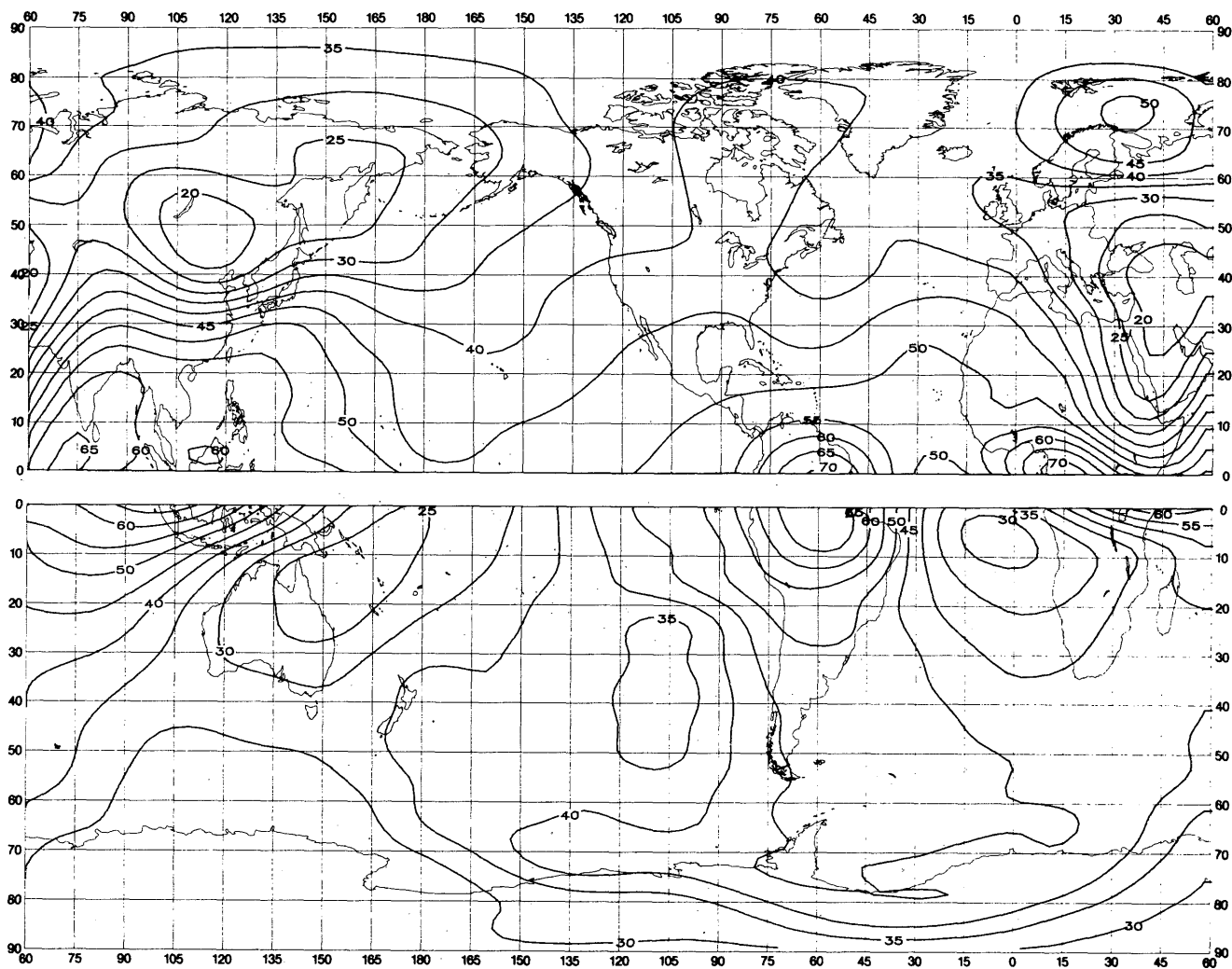


FIGURE 5a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Hiver; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 5a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Winter; 1200-1600 LT)

FIGURA 5a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Invierno; 1200-1600 hora local)

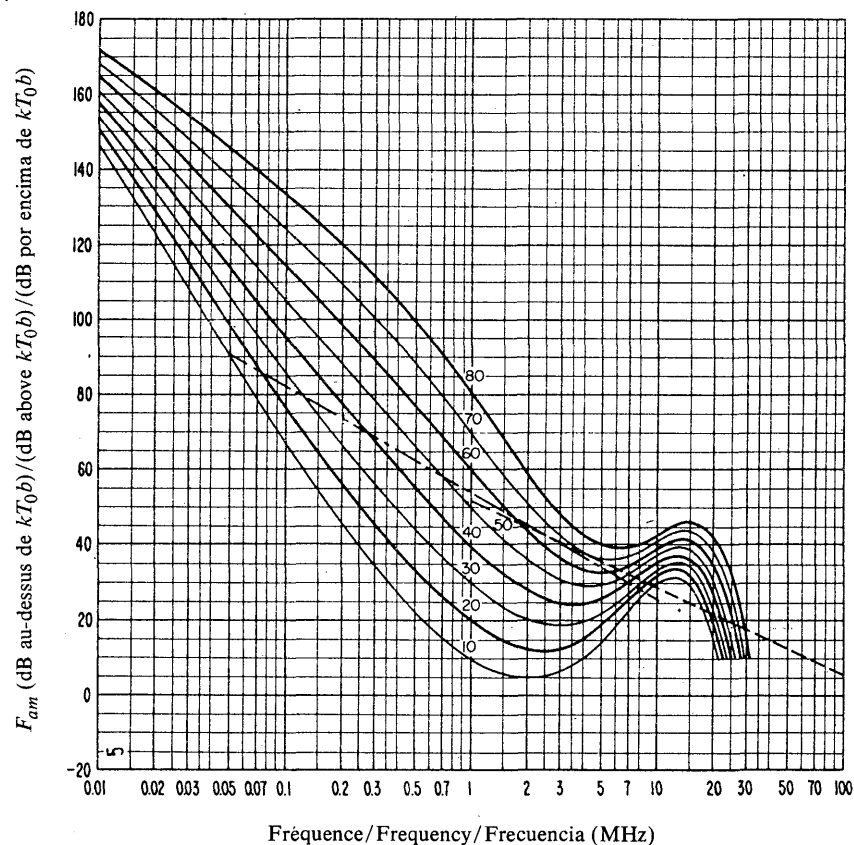


FIGURE 5b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Hiver; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 5b — Variation of radio noise with frequency
(Winter; 1200-1600 LT)

FIGURA 5b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Invierno; 1200-1600 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

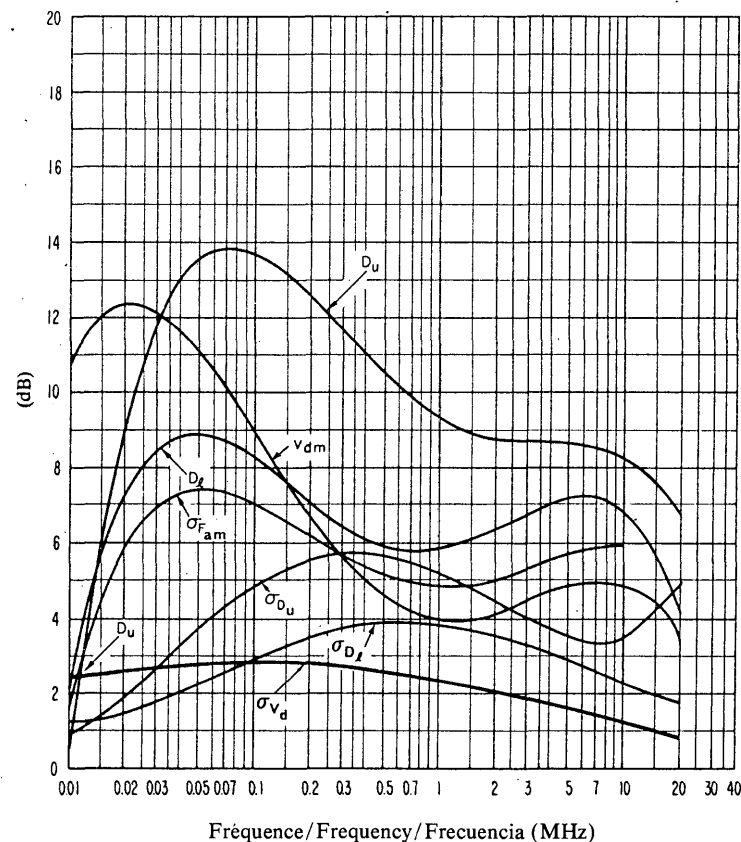


FIGURE 5c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Hiver; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 5c — Data on noise variability and character
(Winter; 1200-1600 LT)

FIGURA 5c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Invierno; 1200-1600 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

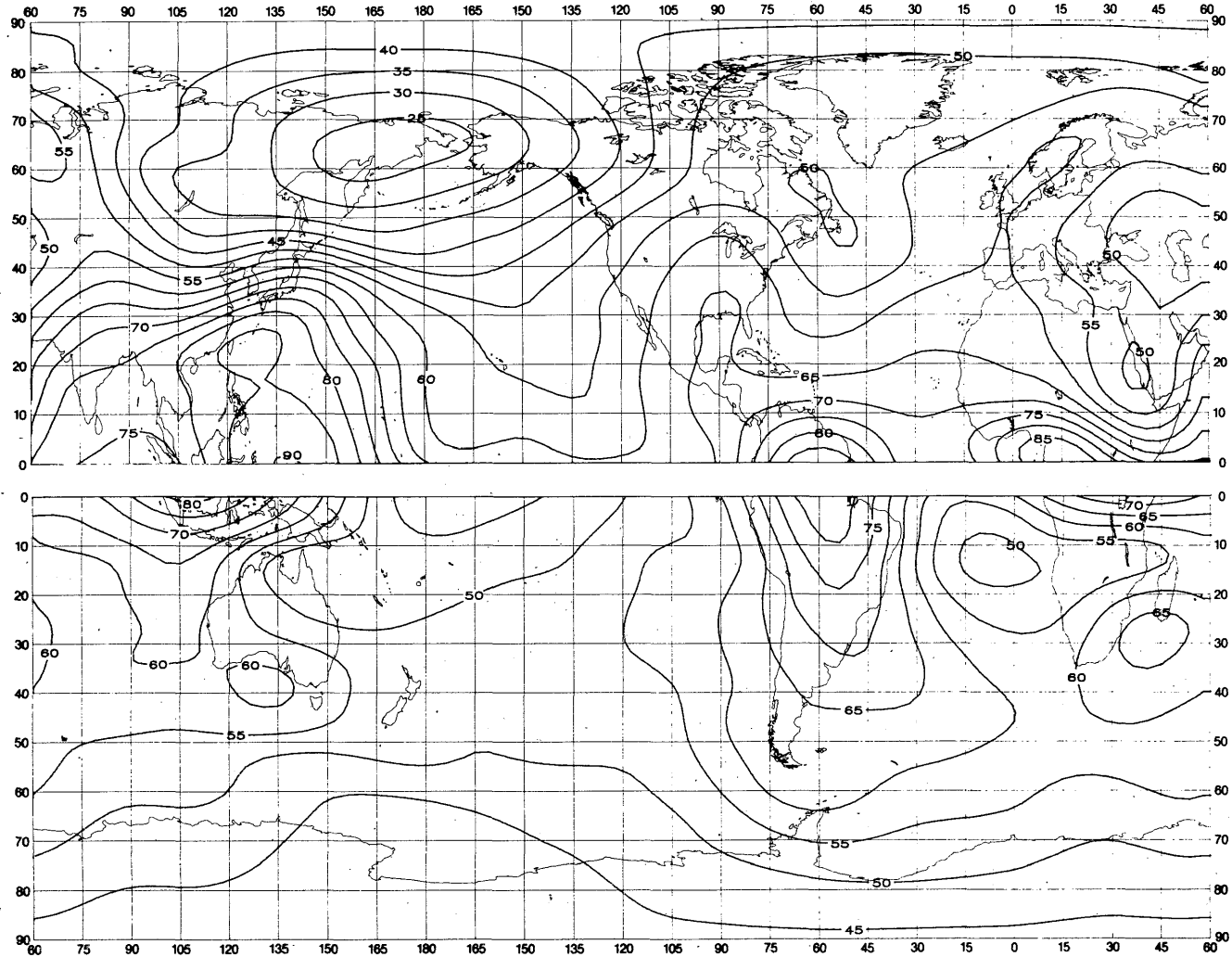
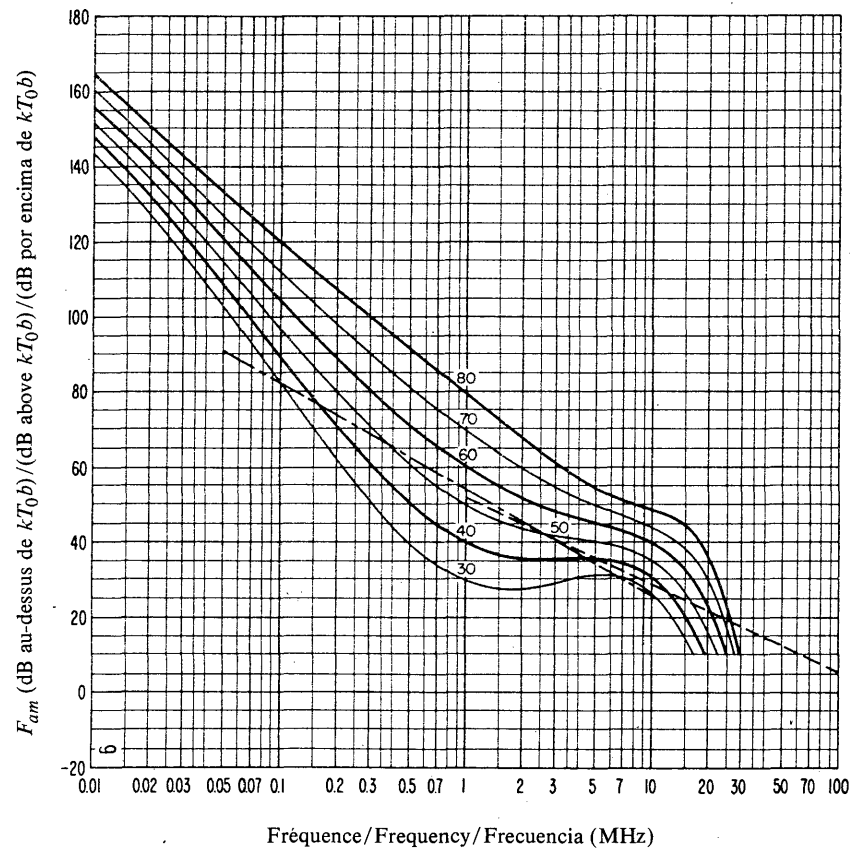


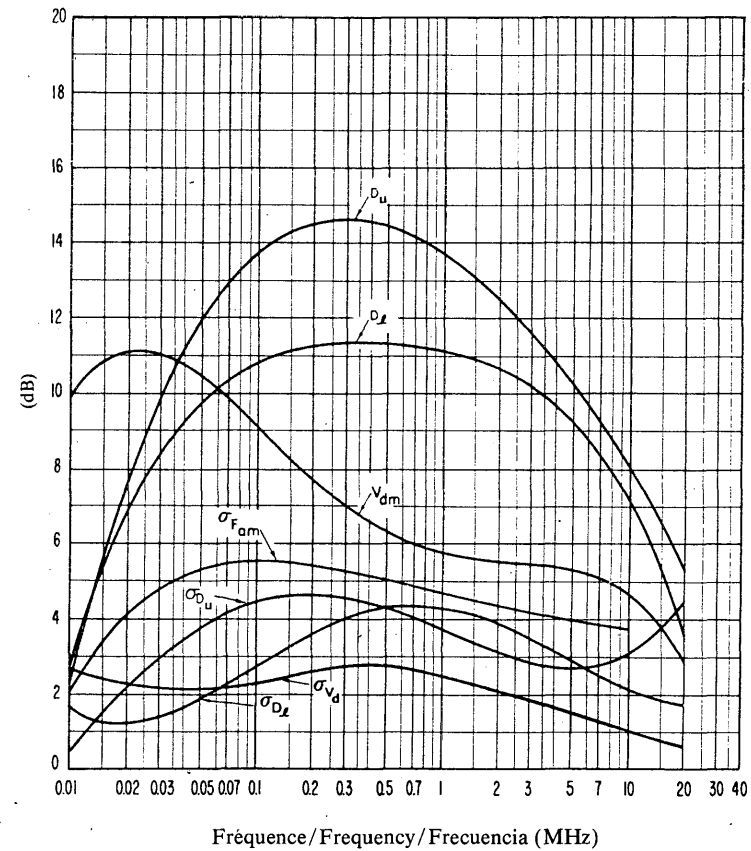
FIGURE 6a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Hiver; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 6a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Winter; 1600-2000 LT)

FIGURA 6a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Invierno; 1600-2000 hora local)



Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b



Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

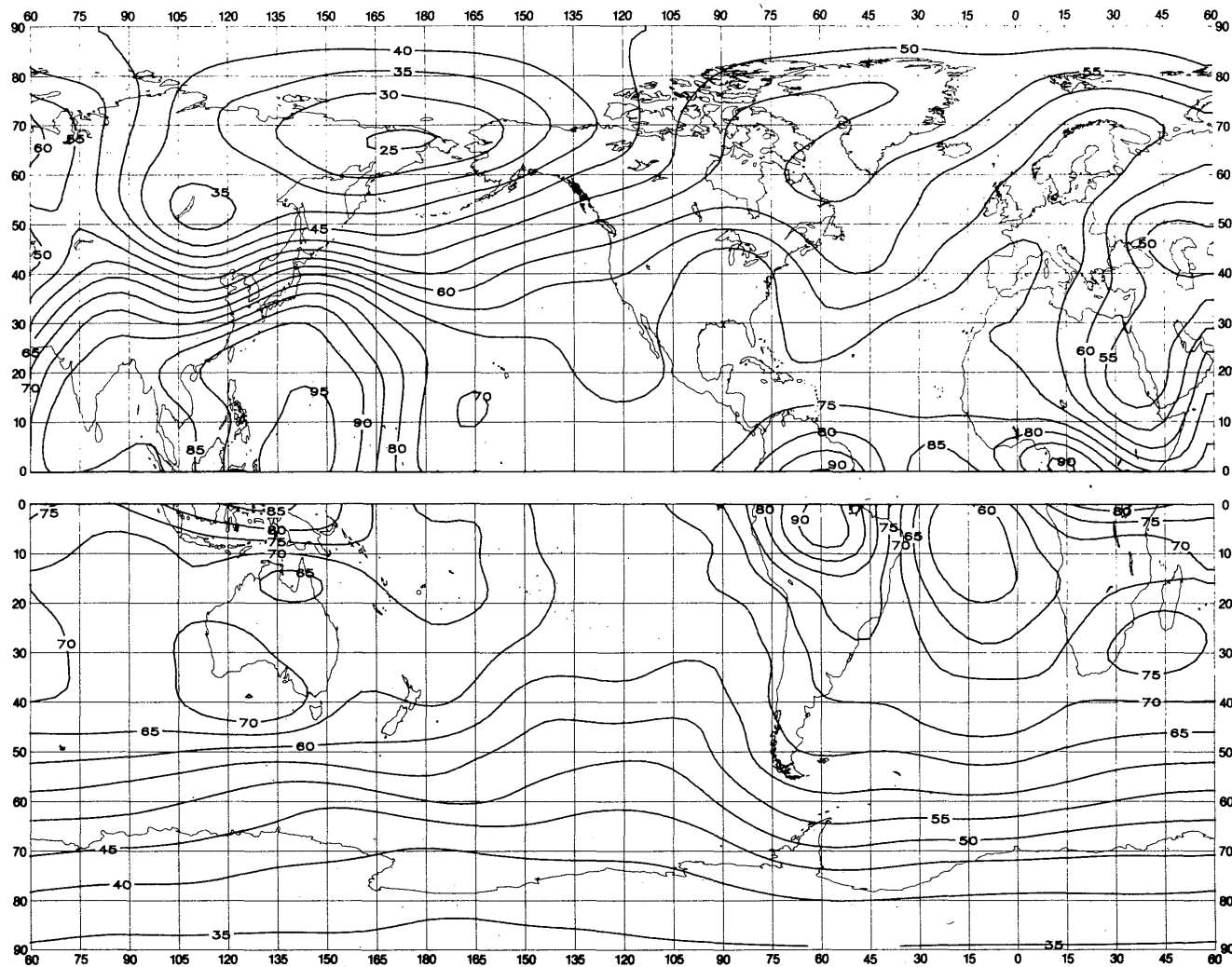


FIGURE 7a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Hiver; 2000-2400 heure locale)

FIGURE 7a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Winter; 2000-2400 LT)

FIGURA 7a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Invierno; 2000-2400 hora local)

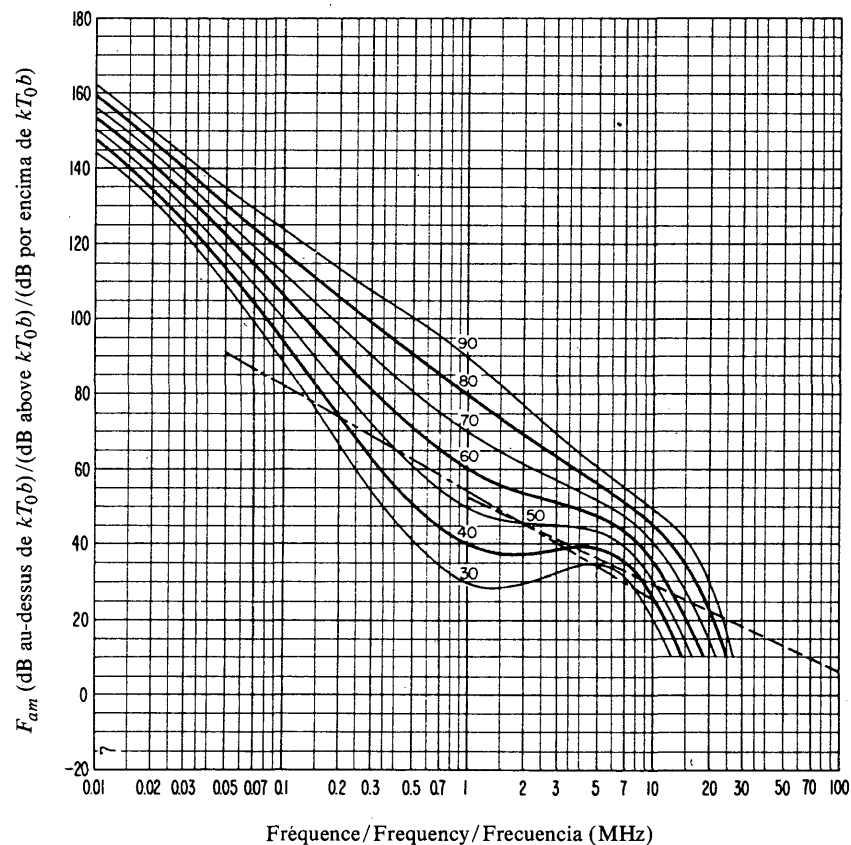


FIGURE 7b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Hiver; 2000-2400 heure locale)
FIGURE 7b — Variation of radio noise with frequency
(Winter; 2000-2400 LT)
FIGURA 7b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Invierno; 2000-2400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

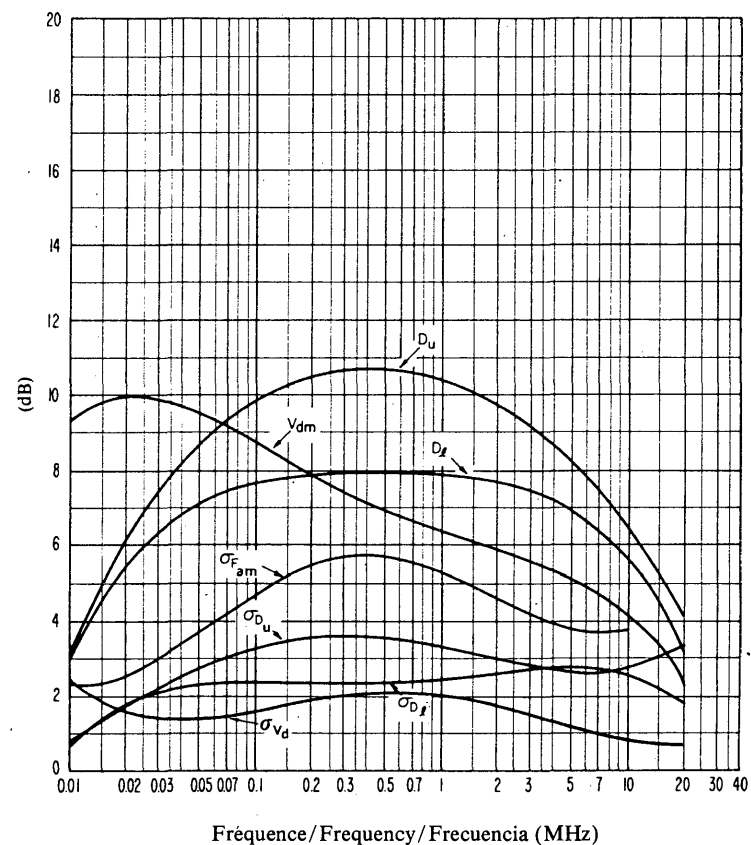


FIGURE 7c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Hiver; 2000-2400 heure locale)
FIGURE 7c — Data on noise variability and character
(Winter; 2000-2400 LT)
FIGURA 7c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Invierno; 2000-2400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

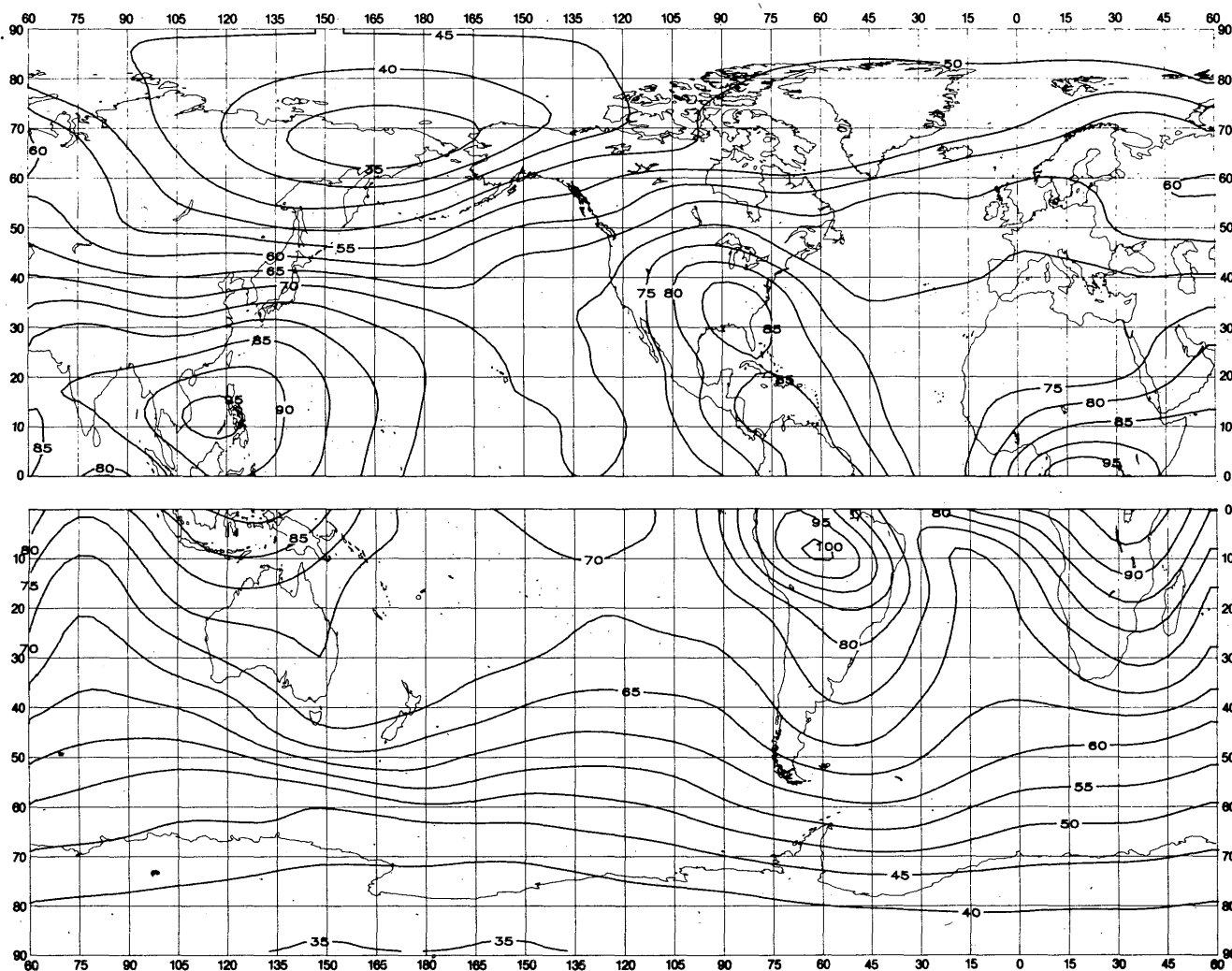


FIGURE 8a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Printemps; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 8a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Spring; 0000-0400 LT)

FIGURA 8a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Primavera; 0000-0400 hora local)

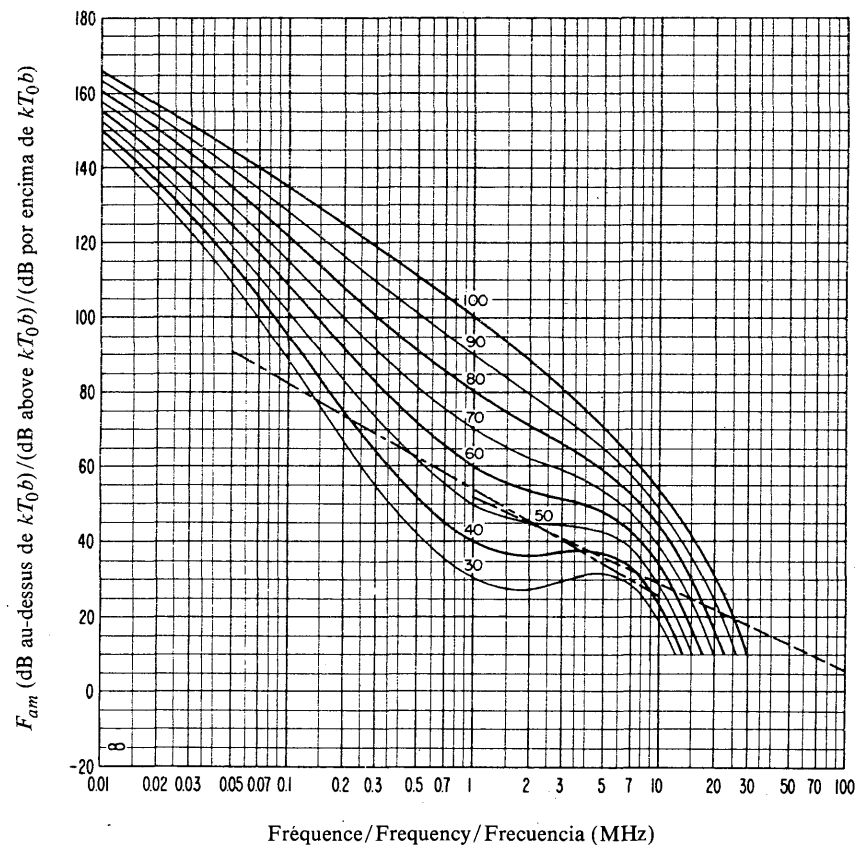


FIGURE 8b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Printemps; 0000-0400 heure locale)
FIGURE 8b — Variation of radio noise with frequency
(Spring; 0000-0400 LT)
FIGURA 8b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Primavera; 0000-0400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

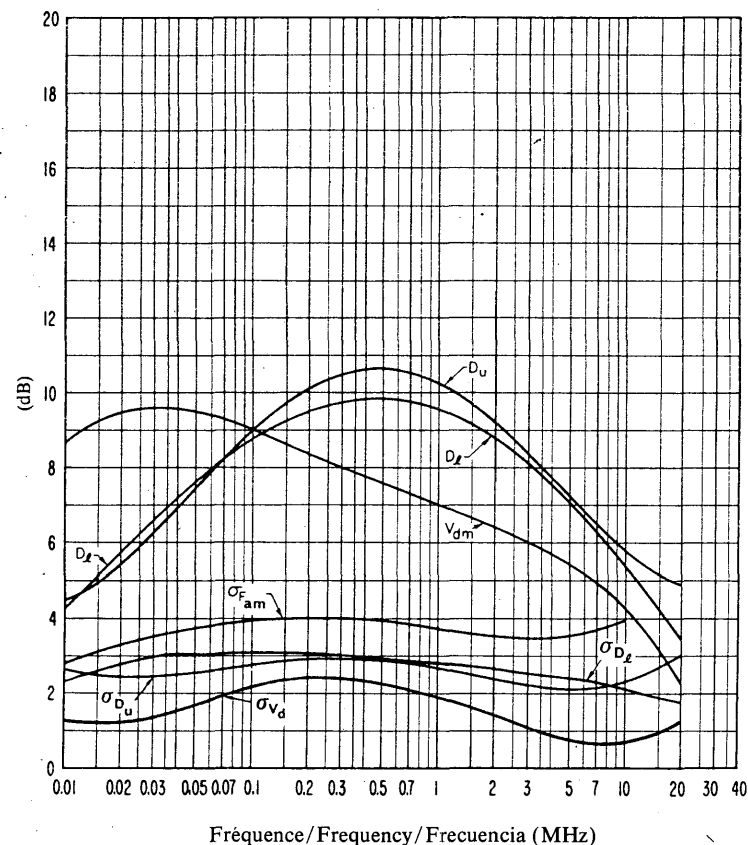


FIGURE 8c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Printemps; 0000-0400 heure locale)
FIGURE 8c — Data on noise variability and character
(Spring; 0000-0400 LT)
FIGURA 8c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Primavera; 0000-0400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

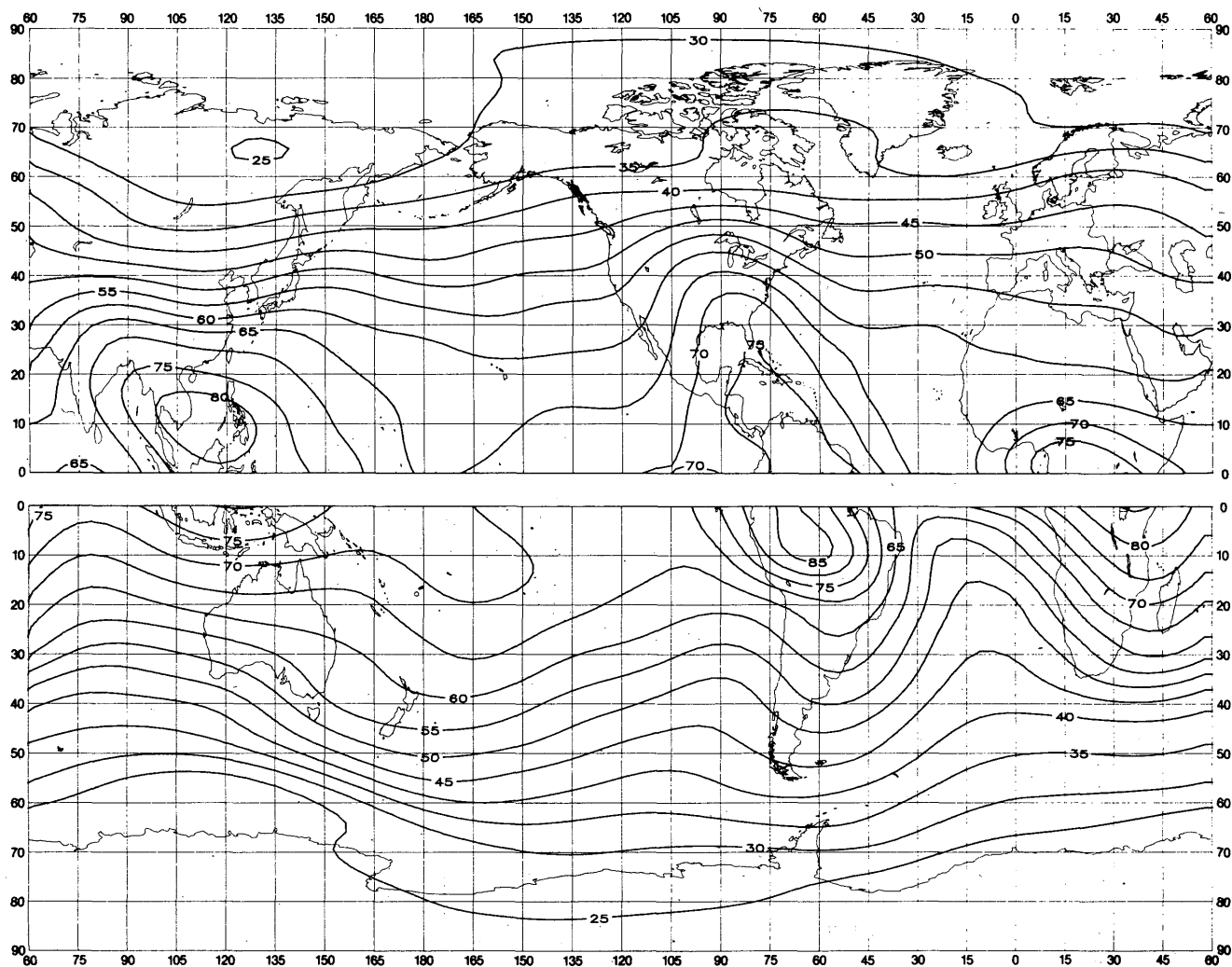


FIGURE 9a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Printemps; 0400-0800 heure locale)

FIGURE 9a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Spring; 0400-0800 LT)

FIGURA 9a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Primavera; 0400-0800 hora local)

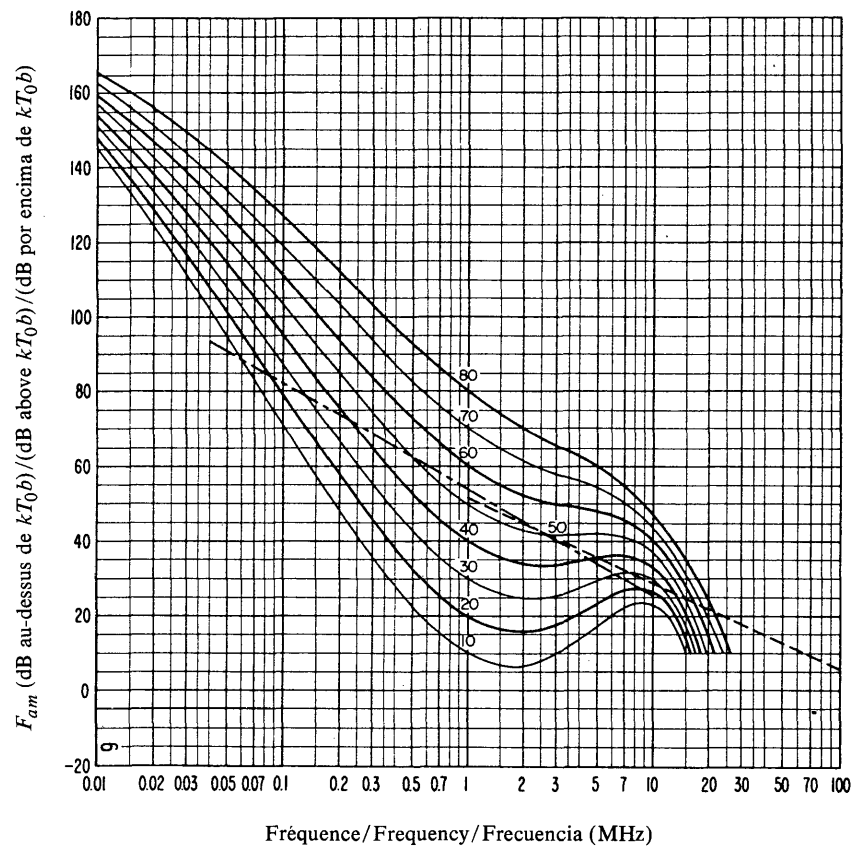


FIGURE 9b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Printemps; 0400-0800 heure locale)
FIGURE 9b — Variation of radio noise with frequency
(Spring; 0400-0800 LT)
FIGURA 9b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Primavera; 0400-0800 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

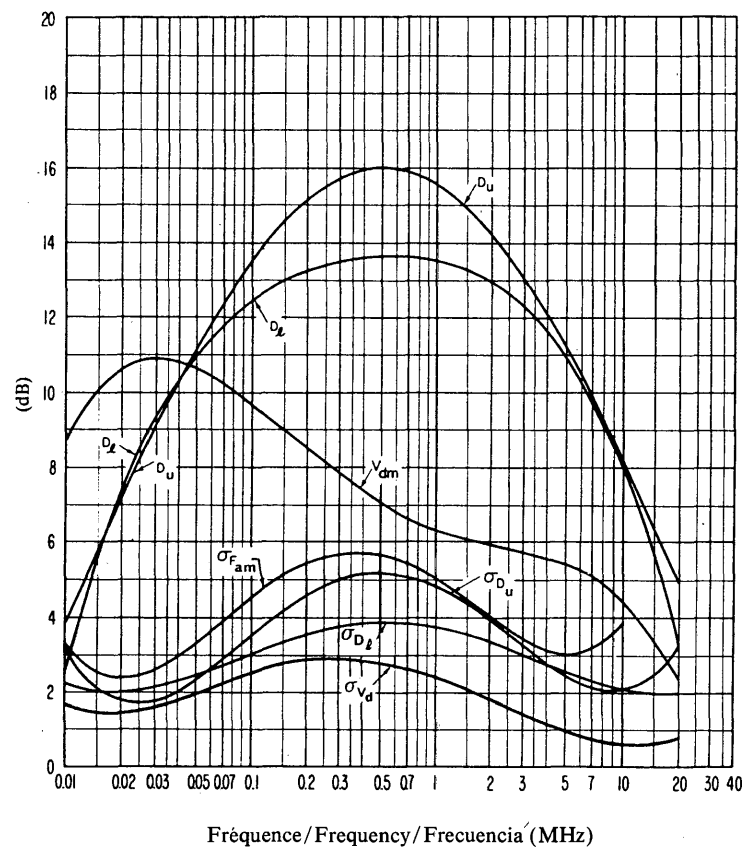


FIGURE 9c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Printemps; 0400-0800 heure locale)
FIGURE 9c — Data on noise variability and character
(Spring; 0400-0800 LT)
FIGURA 9c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Primavera; 0400-0800 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

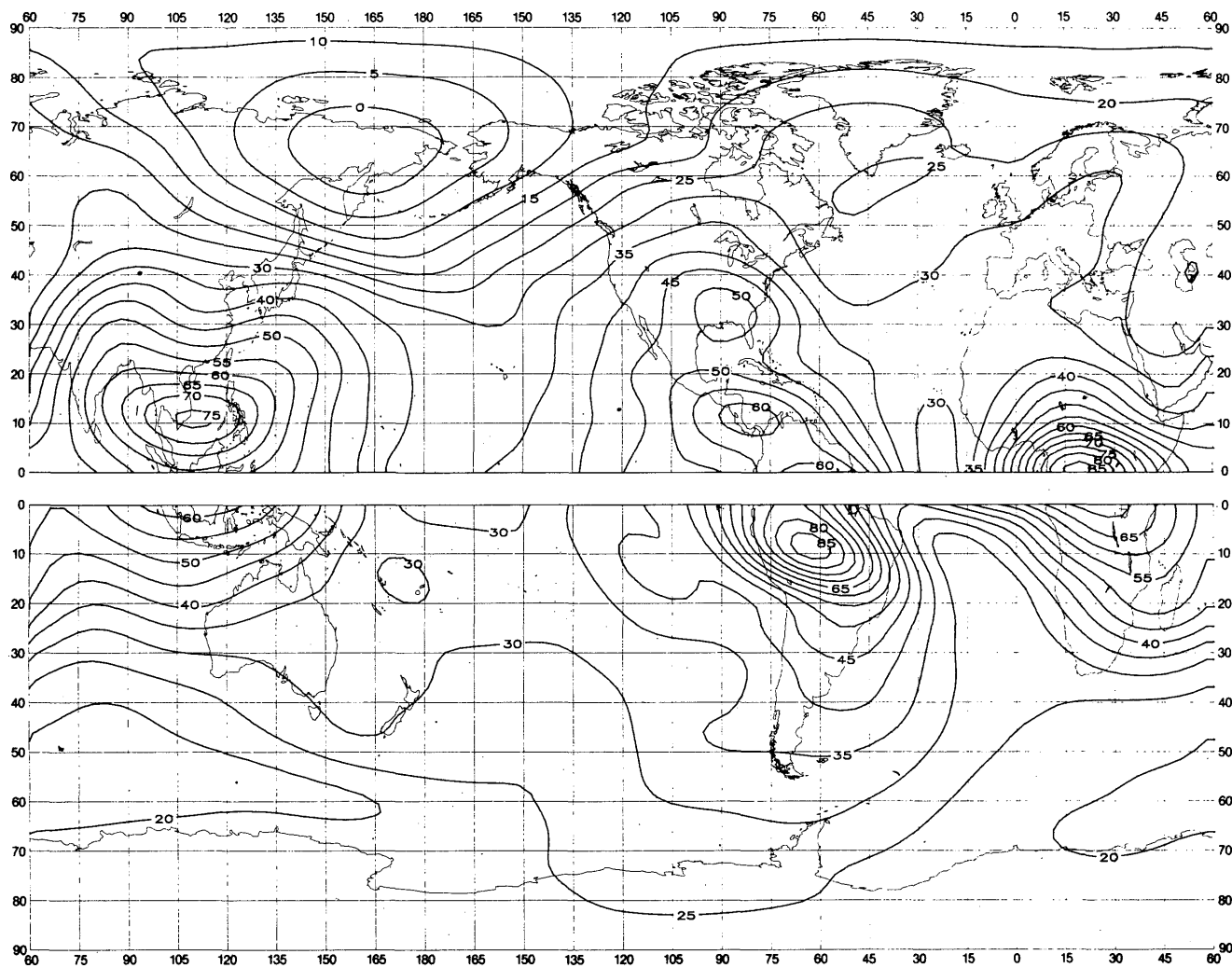


FIGURE 10a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Printemps; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 10a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Spring; 0800-1200 LT)

FIGURA 10a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Primavera; 0800-1200 hora local)

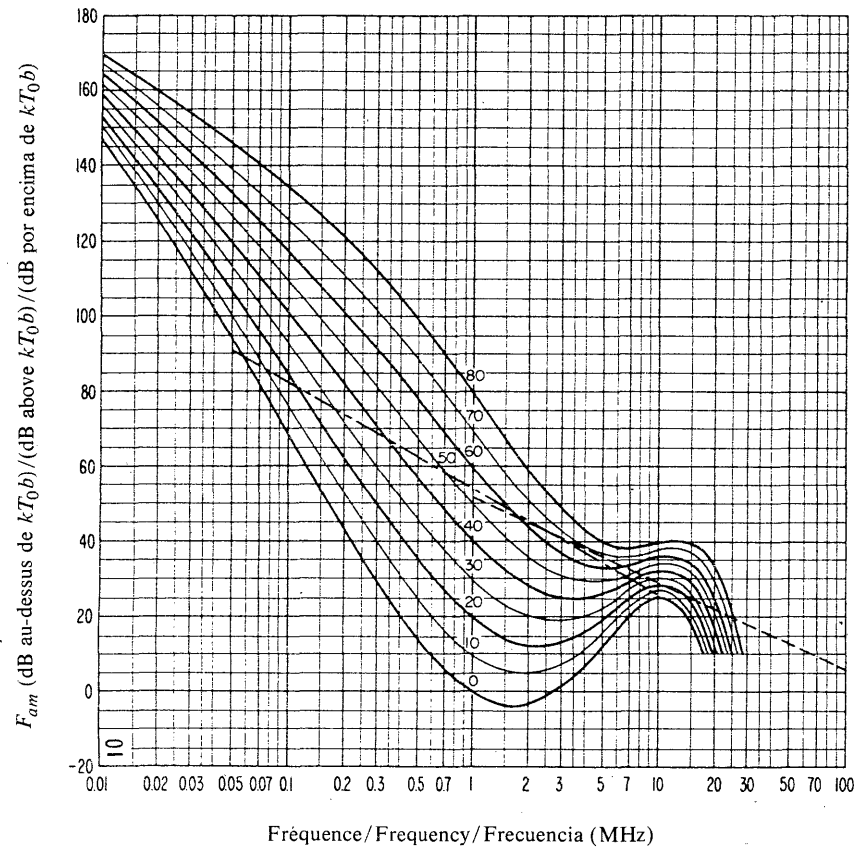


FIGURE 10b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Printemps; 0800-1200 heure locale)
FIGURE 10b — Variation of radio noise with frequency
(Spring; 0800-1200 LT)
FIGURA 10b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Primavera; 0800-1200 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

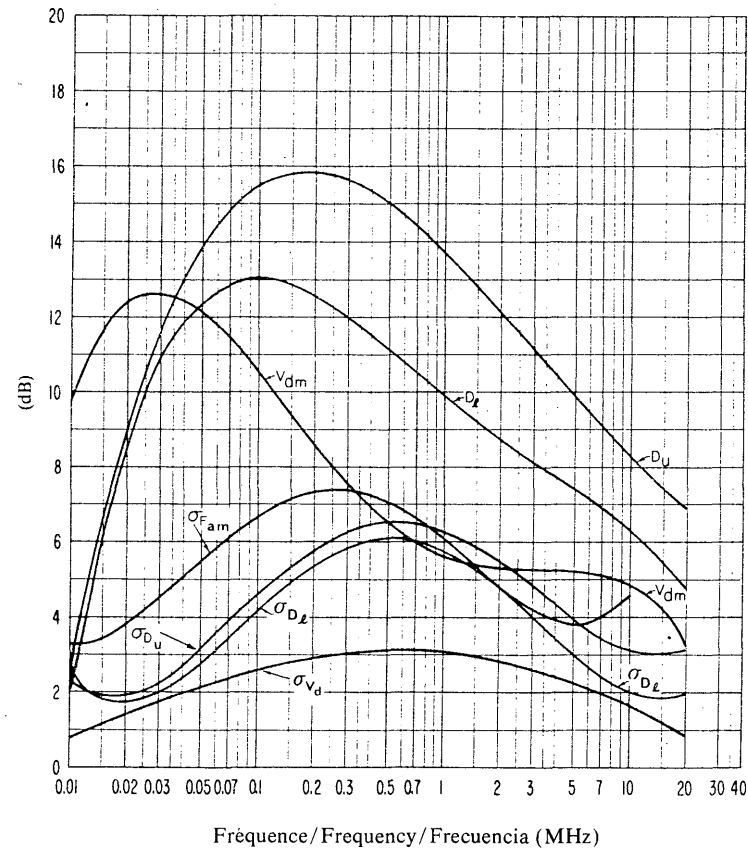


FIGURE 10c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Printemps; 0800-1200 heure locale)
FIGURE 10c — Data on noise variability and character
(Spring; 0800-1200 LT)
FIGURA 10c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Primavera; 0800-1200 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

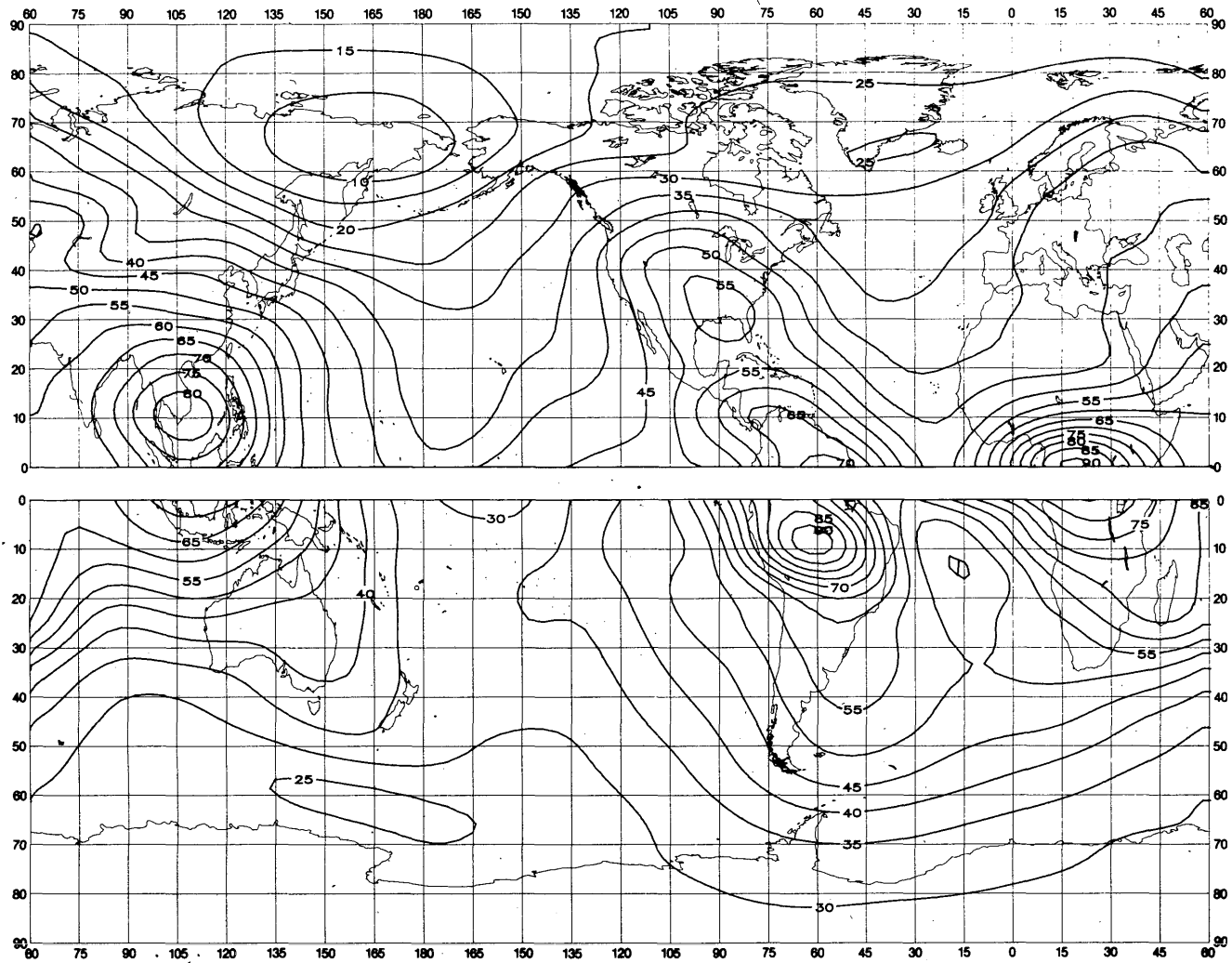


FIGURE 11a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Printemps; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 11a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Spring; 1200-1600 LT)

FIGURA 11a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Primavera; 1200-1600 hora local)

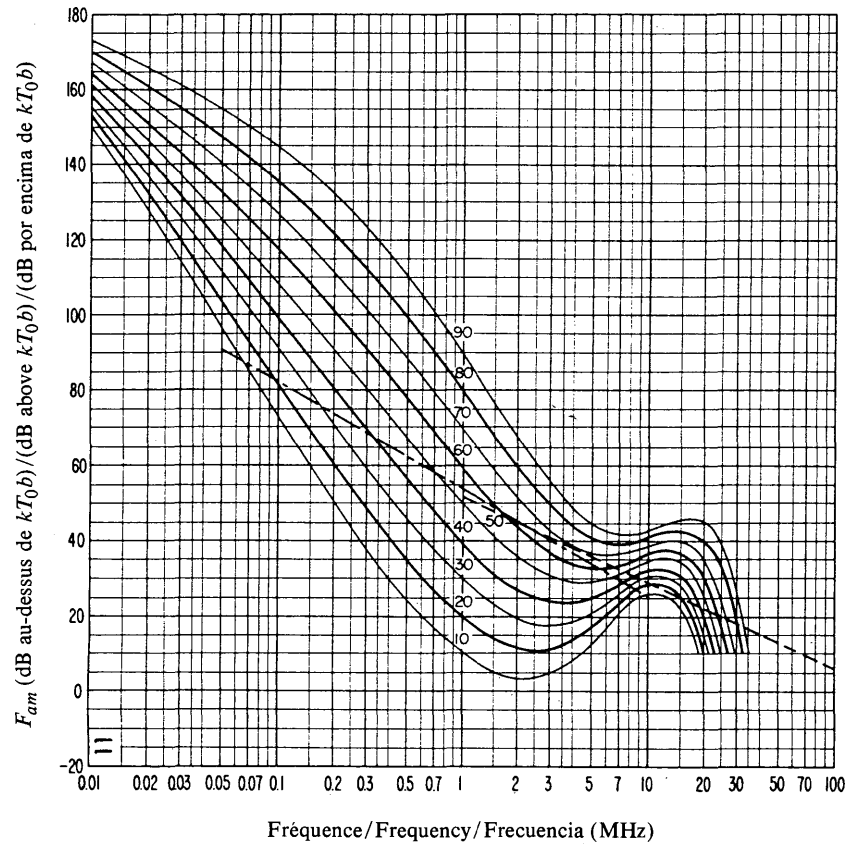


FIGURE 11b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Printemps; 1200-1600 heure locale)
FIGURE 11b — Variation of radio noise with frequency
(Spring; 1200-1600 LT)
FIGURA 11b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Primavera; 1200-1600 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

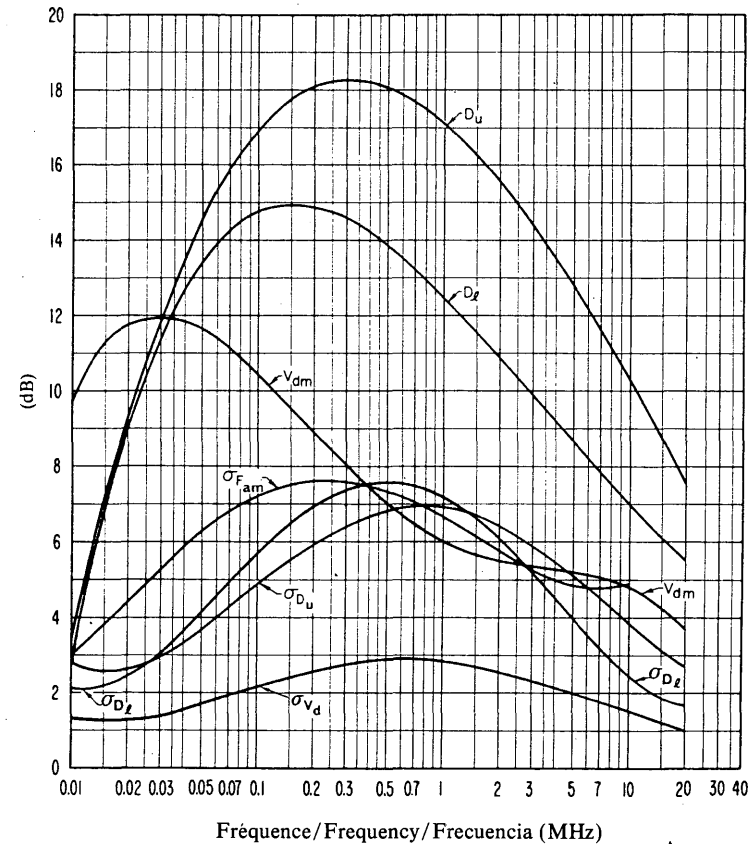


FIGURE 11c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Printemps; 1200-1600 heure locale)
FIGURE 11c — Data on noise variability and character
(Spring; 1200-1600 LT)
FIGURA 11c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Primavera; 1200-1600 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

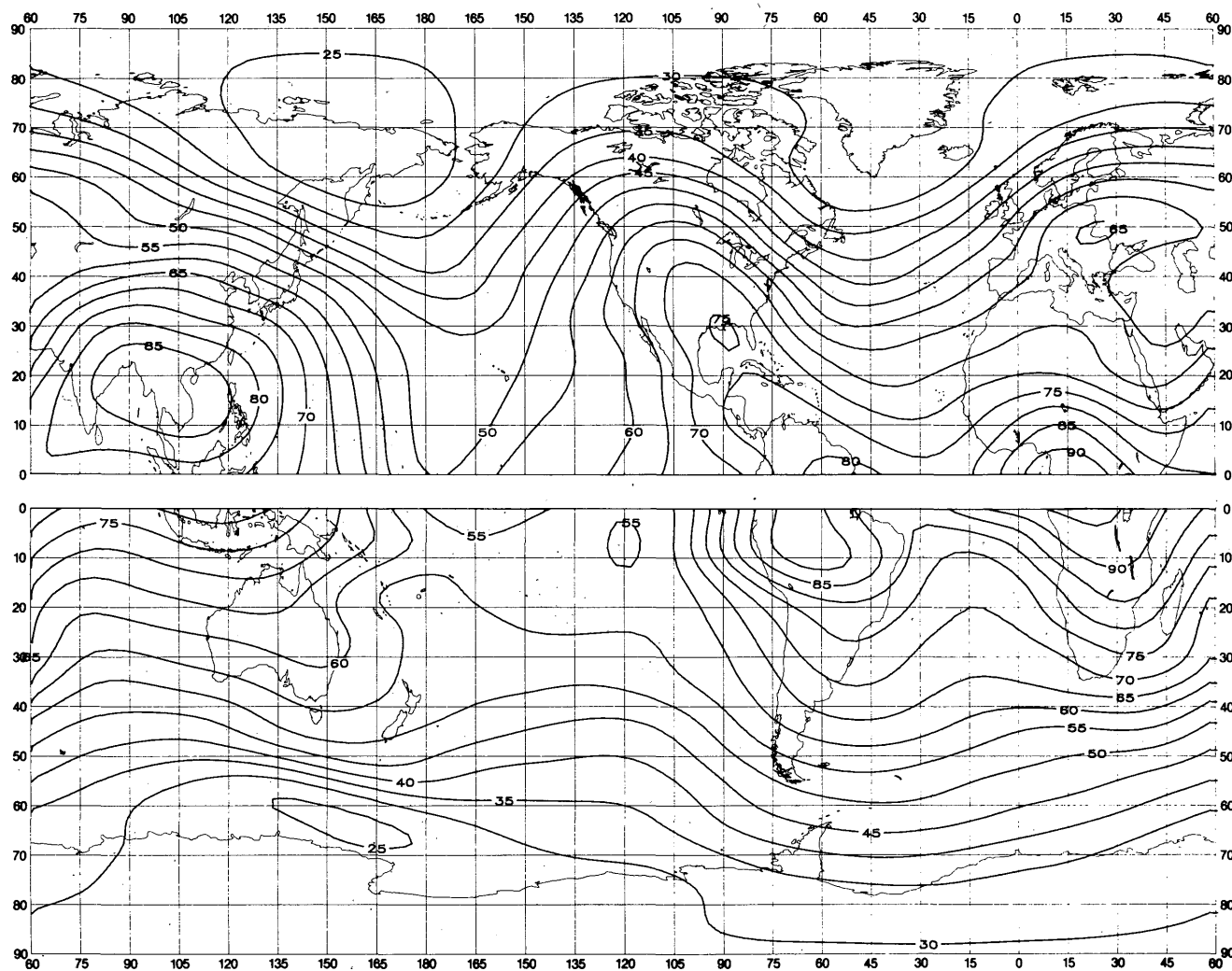


FIGURE 12a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Printemps; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 12a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Spring; 1600-2000 LT)

FIGURA 12a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Primavera; 1600-2000 hora local)

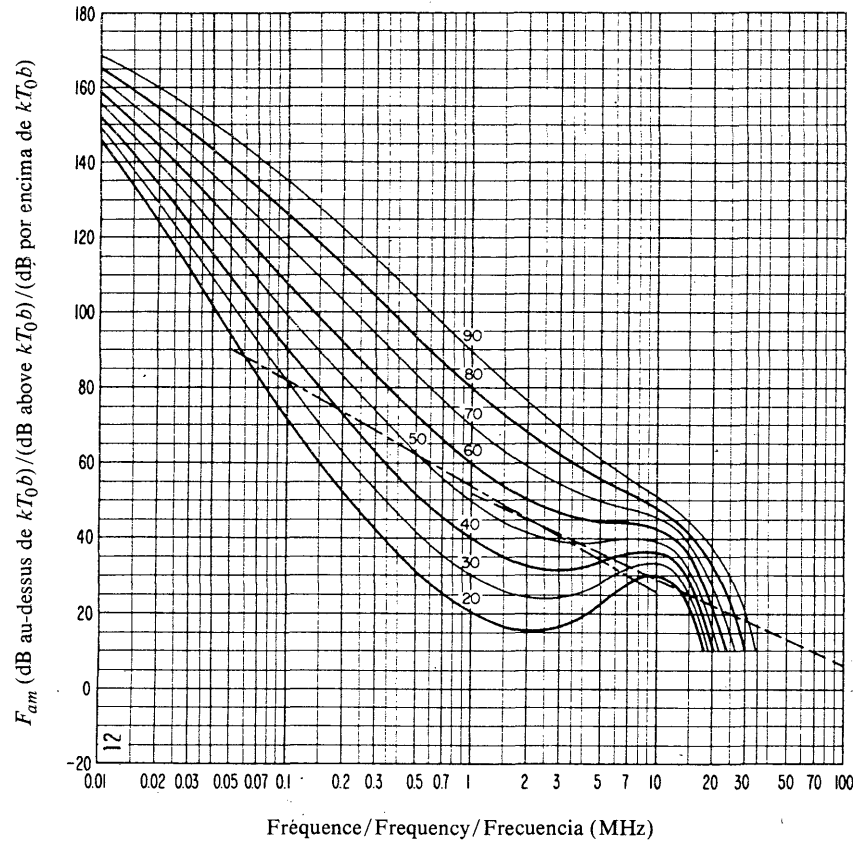


FIGURE 12b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Printemps; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 12b — Variation of radio noise with frequency
(Spring; 1600-2000 LT)

FIGURA 12b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Primavera; 1600-2000 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

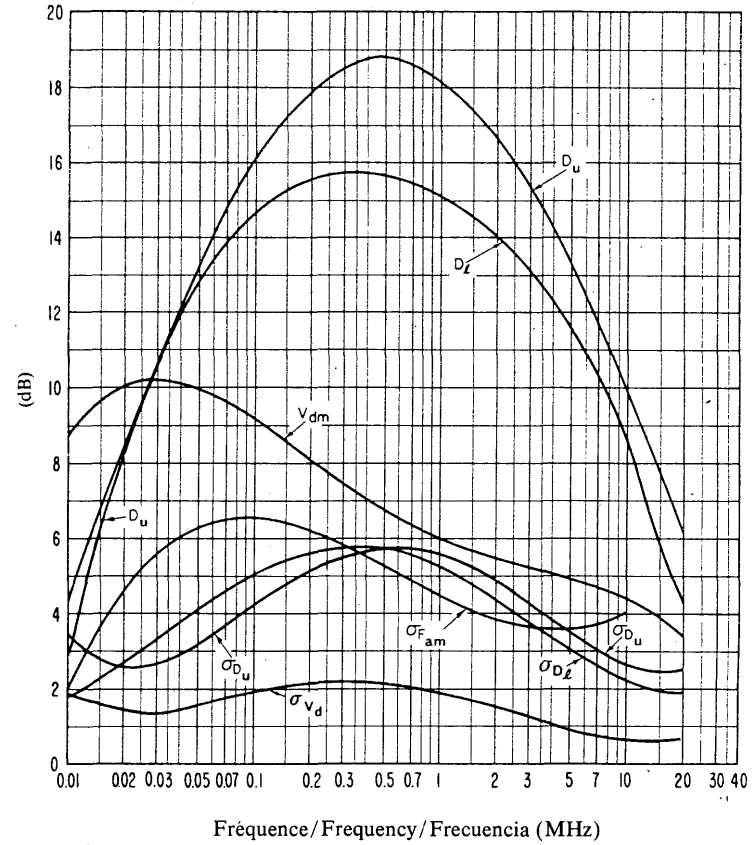


FIGURE 12c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Printemps; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 12c — Data on noise variability and character
(Spring; 1600-2000 LT)

FIGURA 12c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Primavera; 1600-2000 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

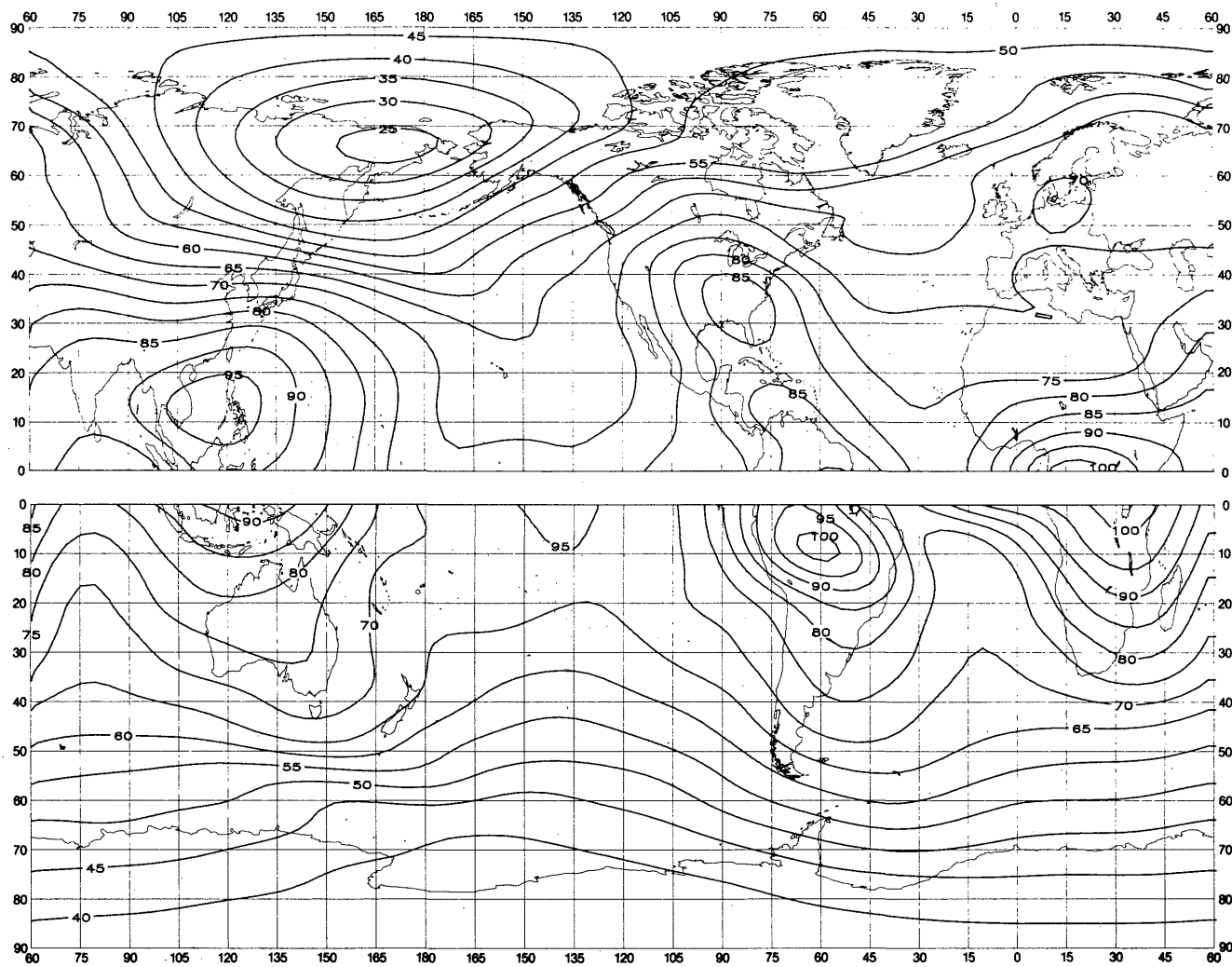


FIGURE 13a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Printemps; 2000-2400 heure locale)

FIGURE 13a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Spring; 2000-2400 LT)

FIGURA 13a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Primavera; 2000-2400 hora local)

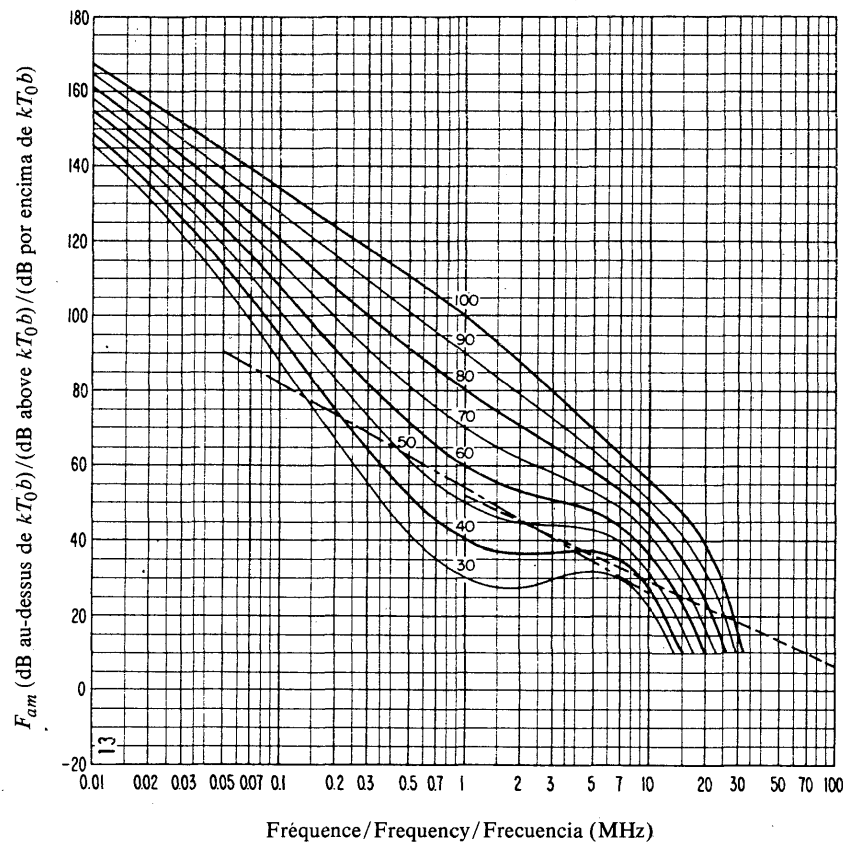


FIGURE 13b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Printemps; 2000-2400 heure locale)
FIGURE 13b — Variation of radio noise with frequency
(Spring; 2000-2400 LT)
FIGURA 13b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Primavera; 2000-2400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

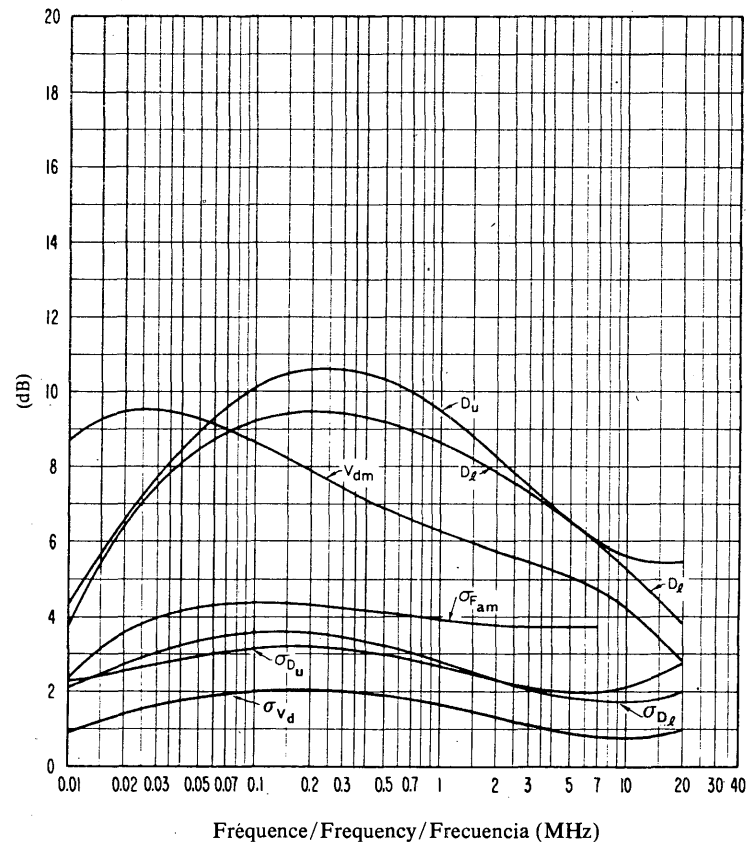


FIGURE 13c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Printemps; 2000-2400 heure locale)
FIGURE 13c — Data on noise variability and character
(Spring; 2000-2400 LT)
FIGURA 13c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Primavera; 2000-2400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

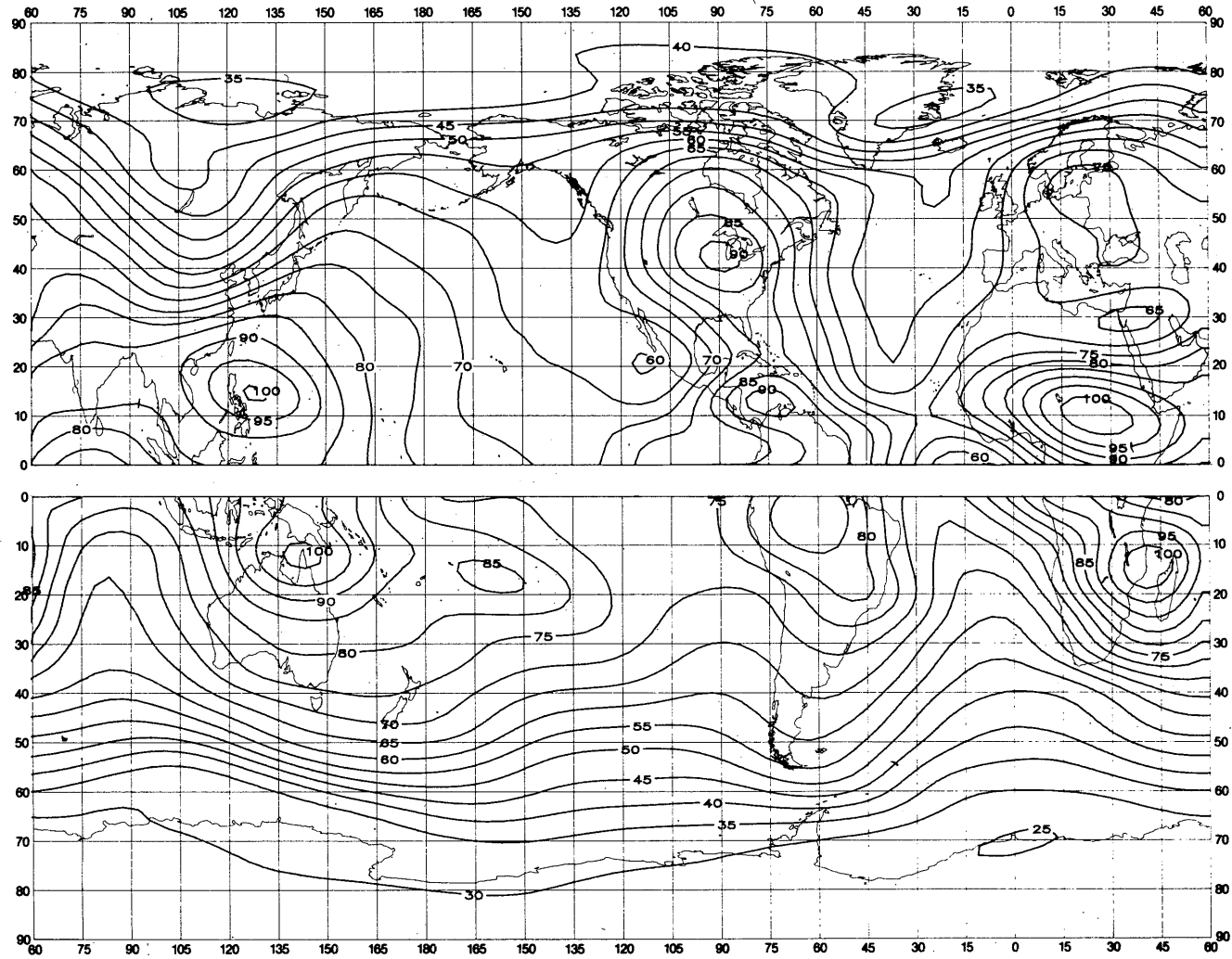


FIGURE 14a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Eté; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 14a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Summer; 0000-0400 LT)

FIGURA 14a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Verano; 0000-0400 hora local)

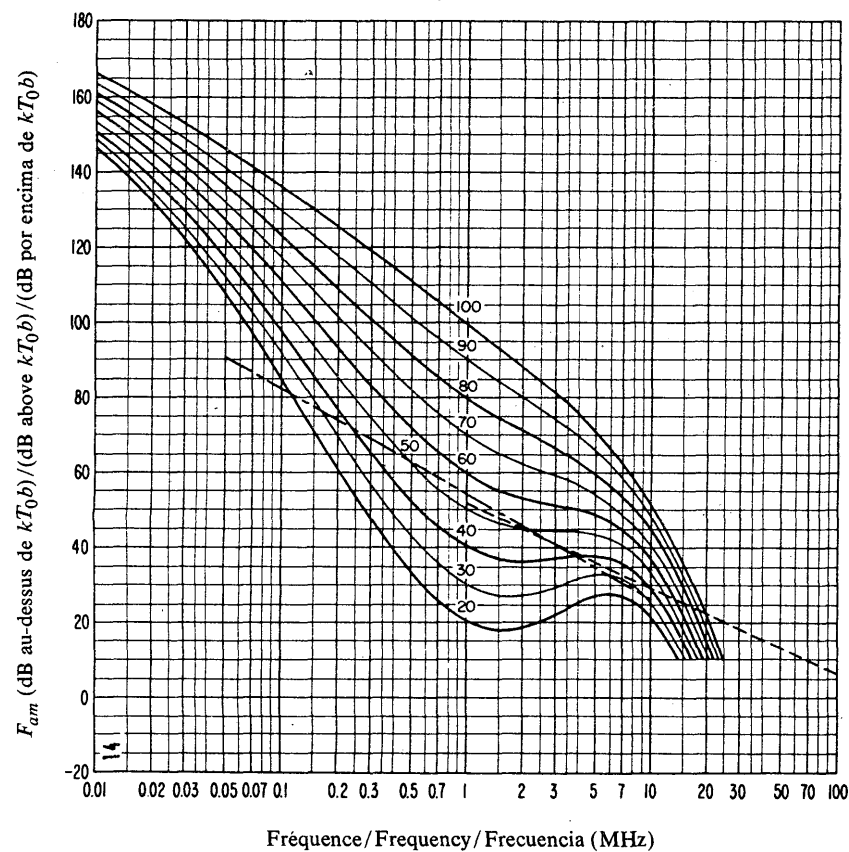


FIGURE 14b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Été; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 14b — Variation of radio noise with frequency
(Summer; 0000-0400 LT)

FIGURA 14b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Verano; 0000-0400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b.

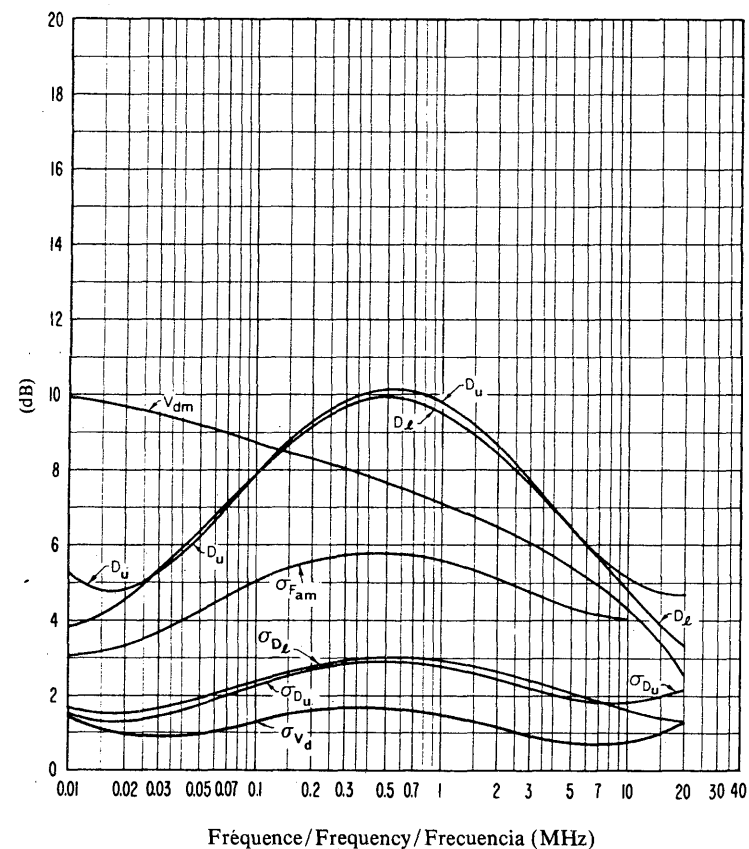


FIGURE 14c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Été; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 14c — Data on noise variability and character
(Summer; 0000-0400 LT)

FIGURA 14c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Verano; 0000-0400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

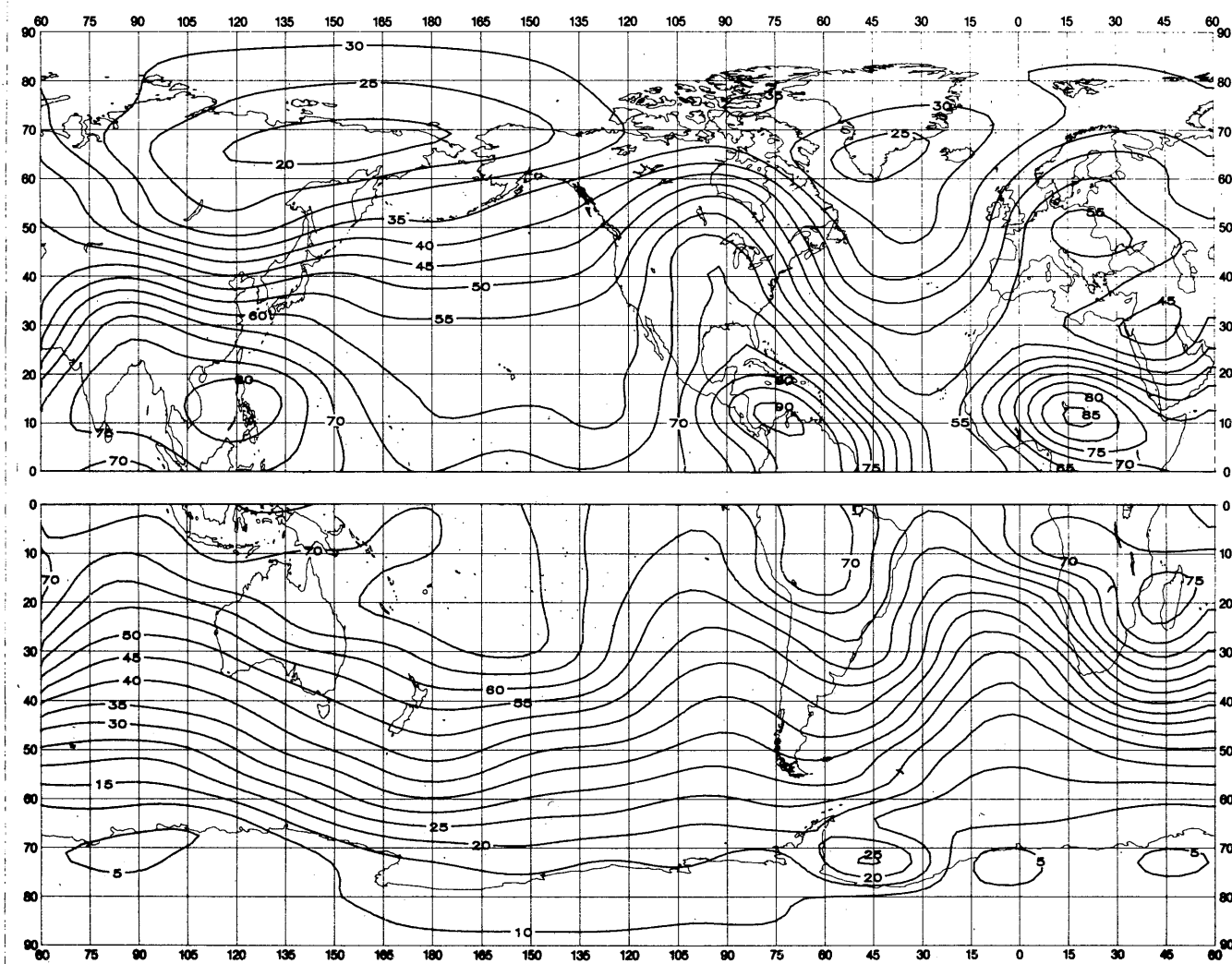


FIGURE 15a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Eté; 0400-0800 heure locale)

FIGURE 15a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Summer; 0400-0800 LT)

FIGURA 15a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Verano; 0400-0800 hora local)

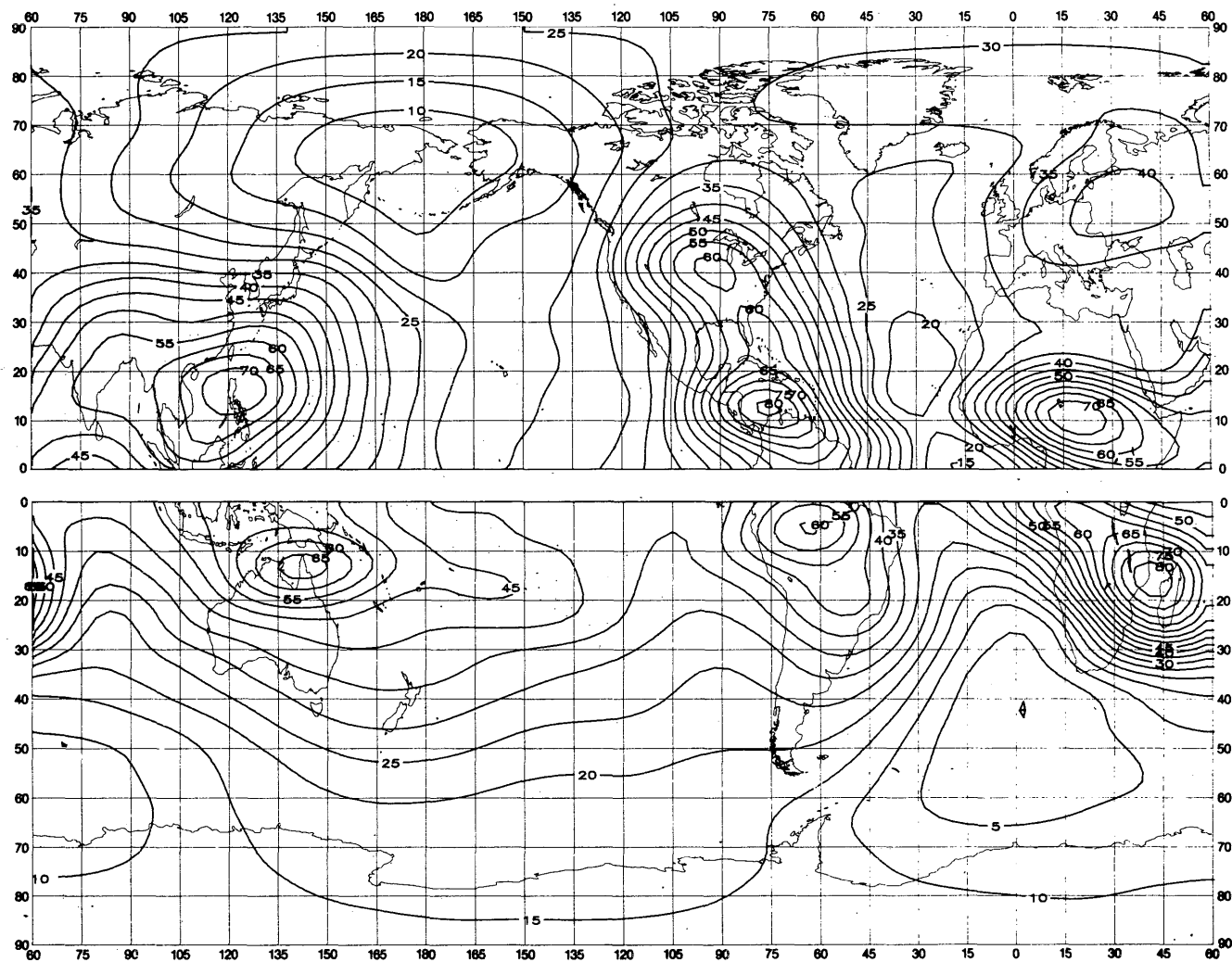


FIGURE 16a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Eté; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 16a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Summer; 0800-1200 LT)

FIGURA 16a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Verano; 0800-1200 hora local)

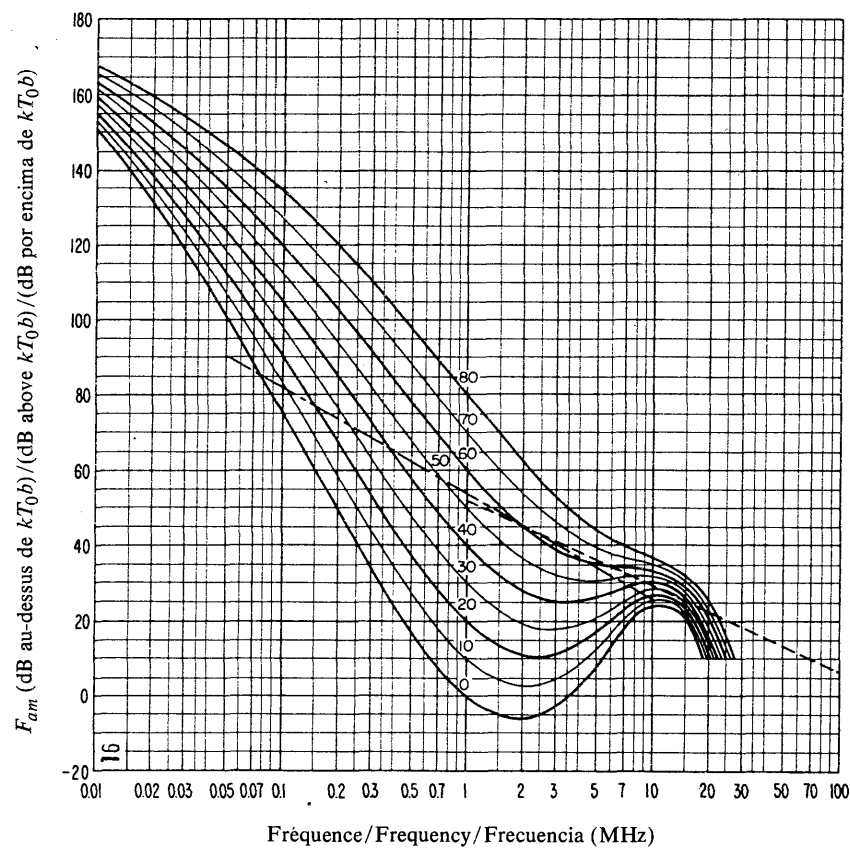


FIGURE 16b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Été; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 16b — Variation of radio noise with frequency (Summer; 0800-1200 LT)

FIGURA 16b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Verano; 0800-1200 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

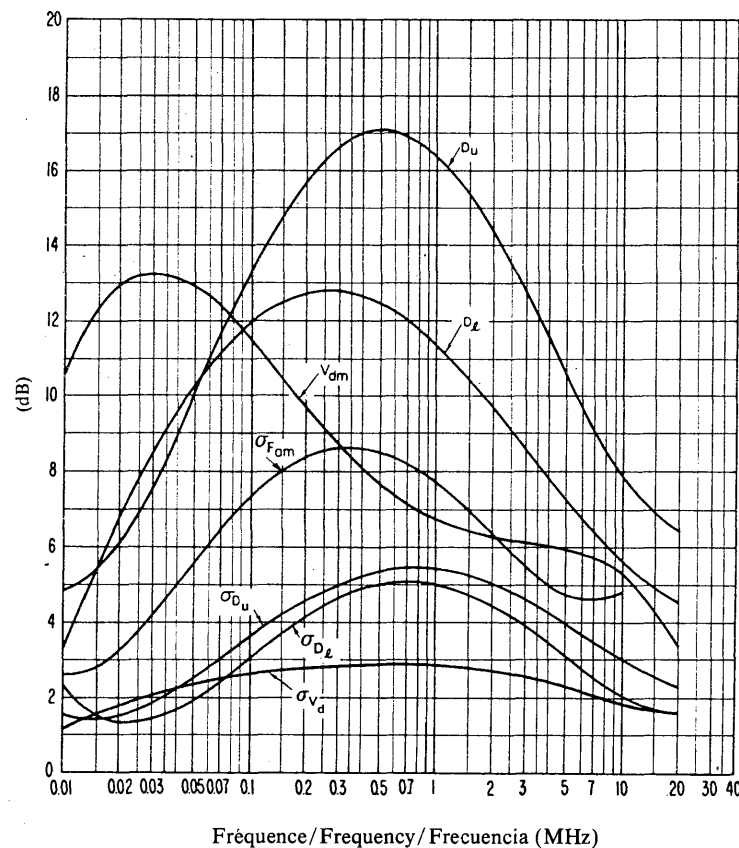


FIGURE 16c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Été; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 16c — Data on noise variability and character (Summer; 0800-1200 LT)

FIGURA 16c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Verano; 0800-1200 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

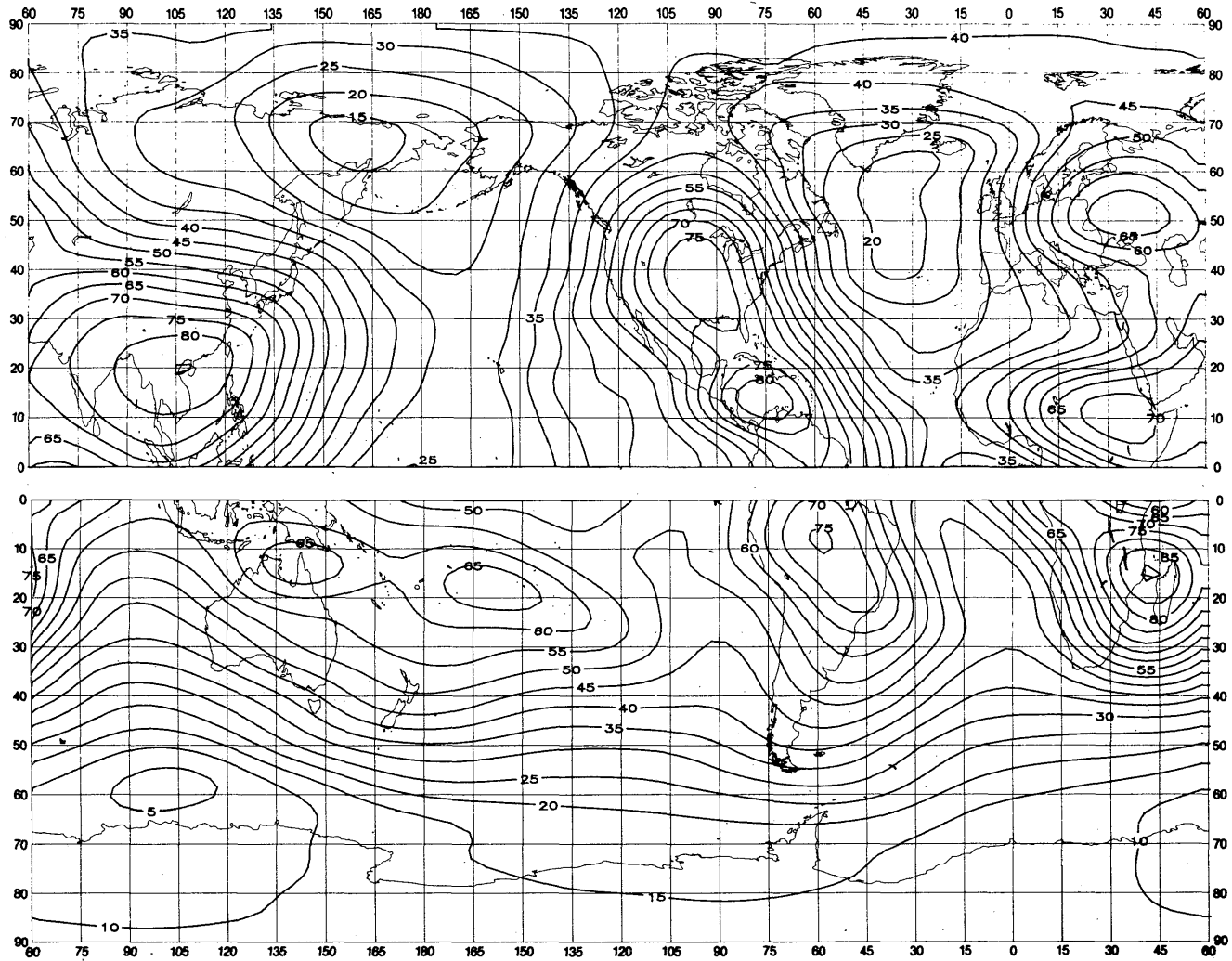


FIGURE 17a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Eté; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 17a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Summer; 1200-1600 LT)

FIGURA 17a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Verano; 1200-1600 hora local)

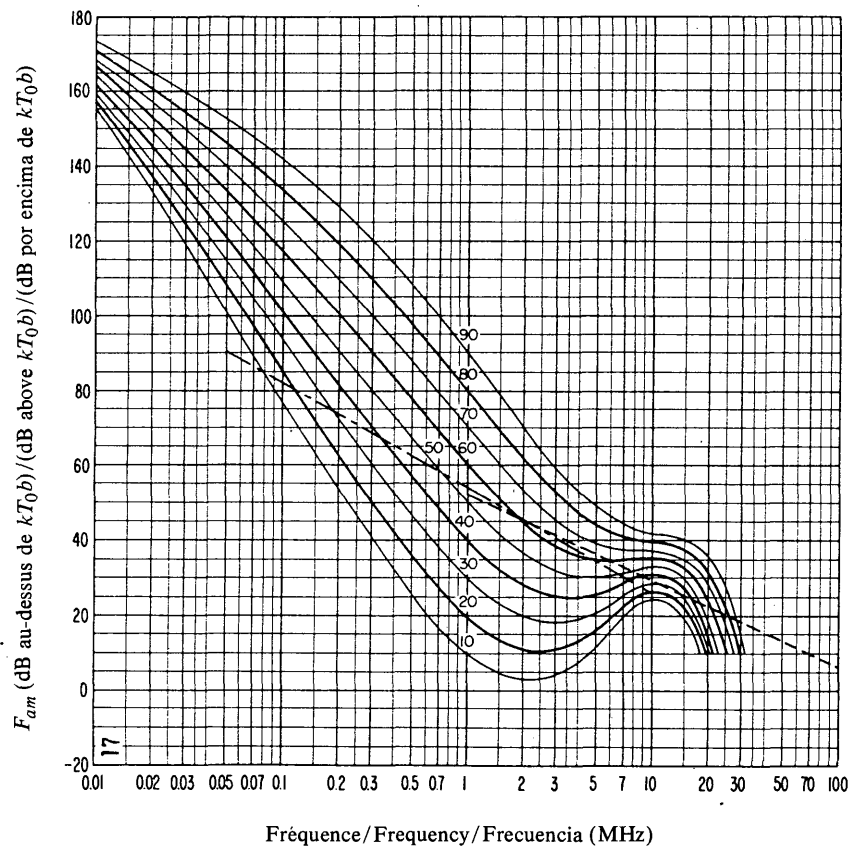


FIGURE 17b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Eté; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 17b — Variation of radio noise with frequency
(Summer; 1200-1600 LT)

FIGURA 17b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Verano; 1200-1600 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

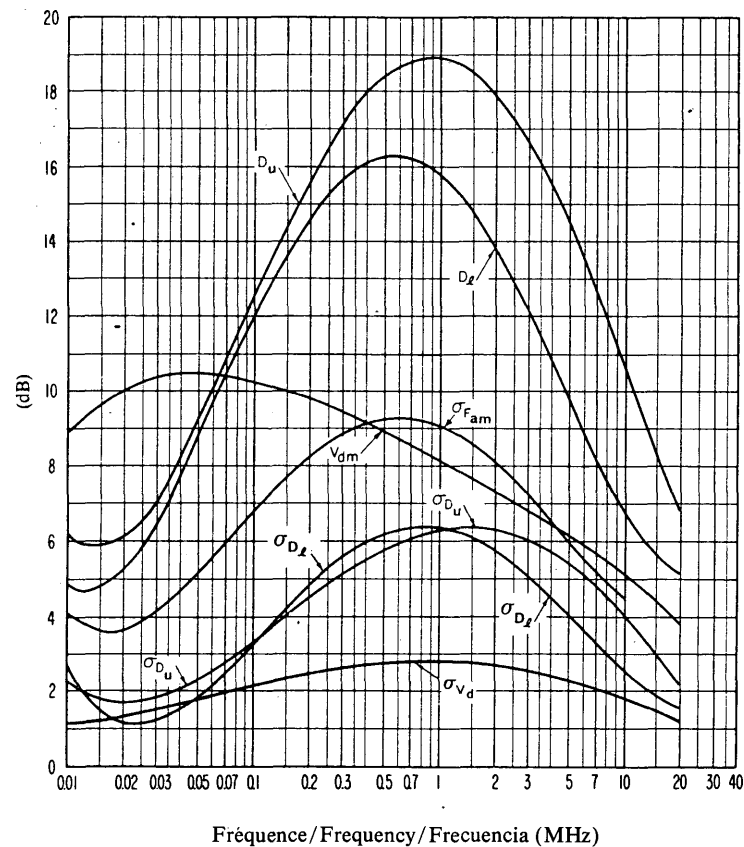


FIGURE 17c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Eté; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 17c — Data on noise variability and character
(Summer; 1200-1600 LT)

FIGURA 17c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Verano; 1200-1600 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

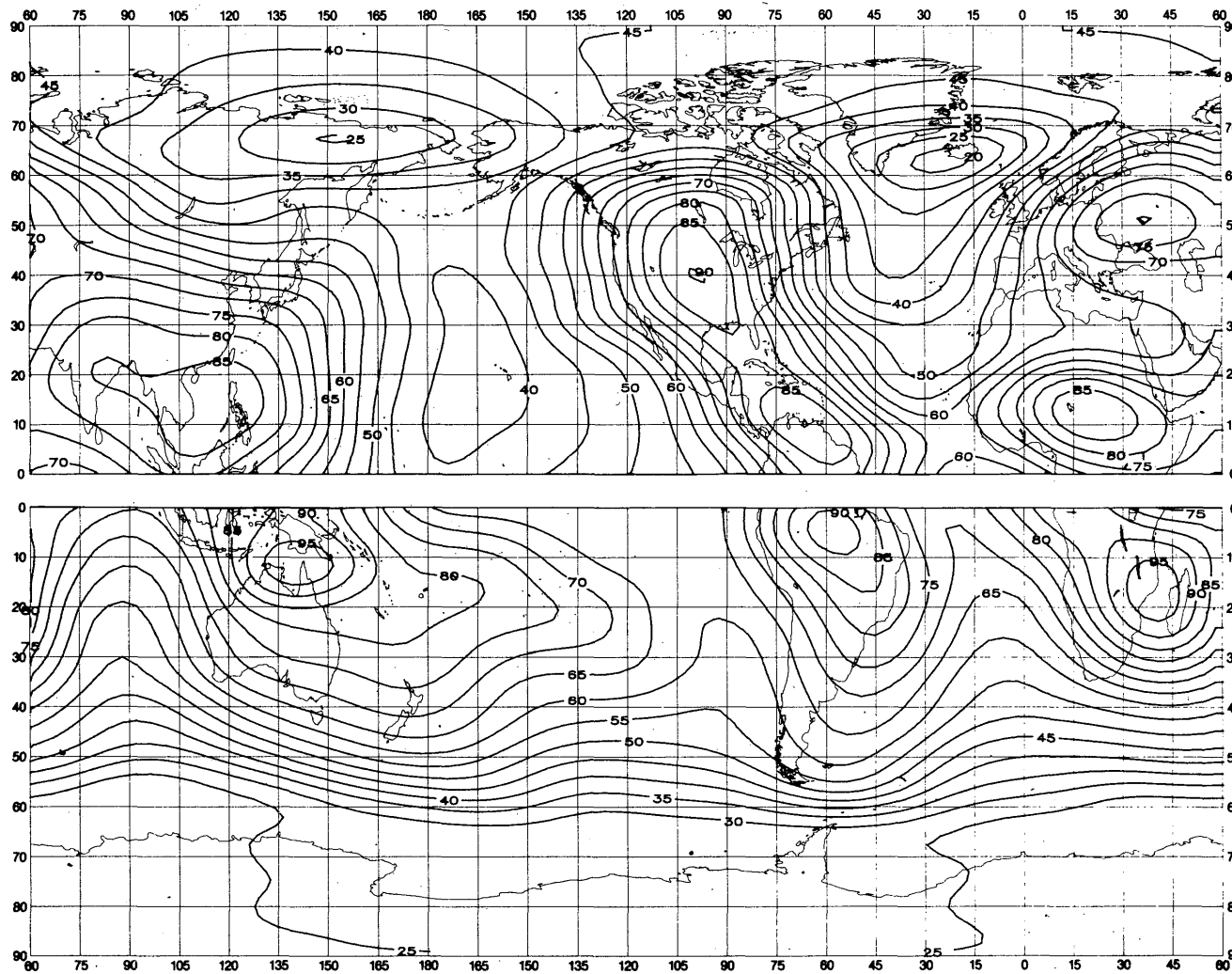


FIGURE 18a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Eté; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 18a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Summer; 1600-2000 LT)

FIGURA 18a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Verano; 1600-2000 hora local)

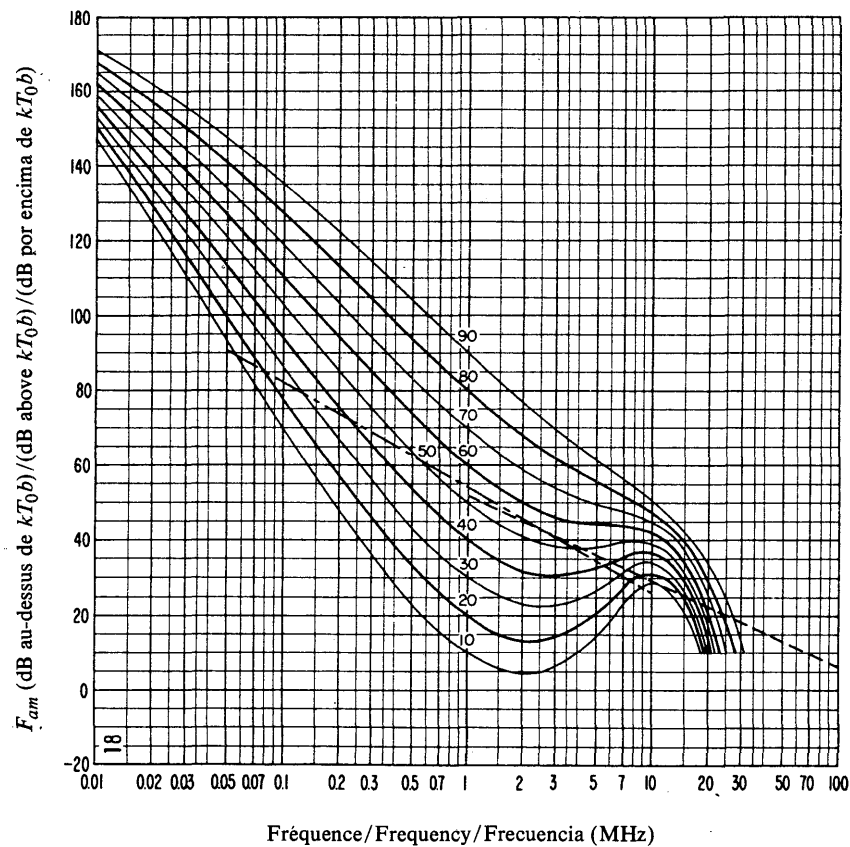


FIGURE 18b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Eté; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 18b — Variation of radio noise with frequency
(Summer; 1600-2000 LT)

FIGURA 18b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Verano; 1600-2000 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

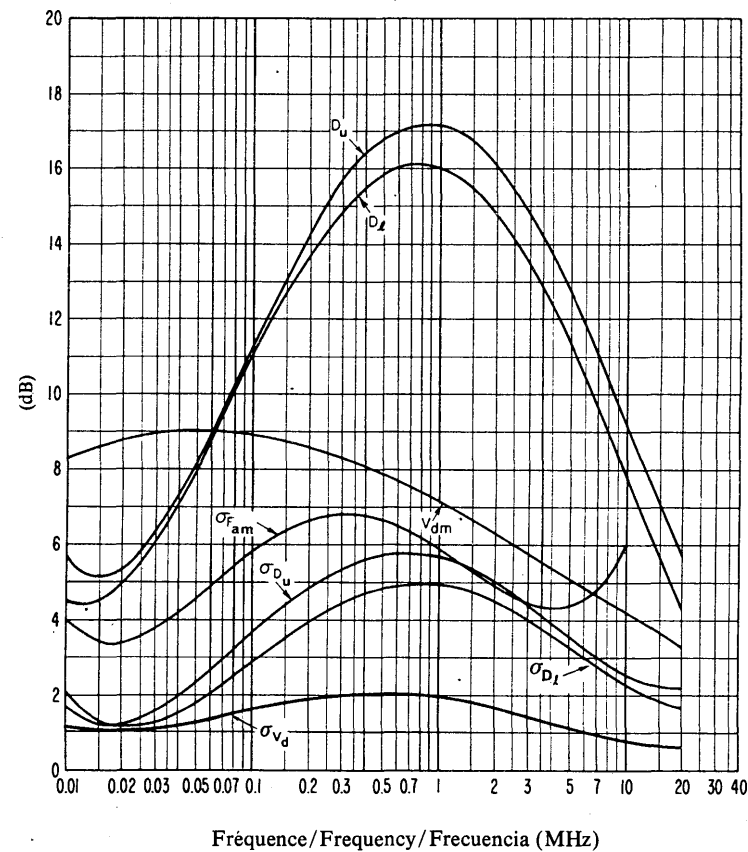


FIGURE 18c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Eté; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 18c — Data on noise variability and character
(Summer; 1600-2000 LT)

FIGURA 18c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Verano; 1600-2000 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

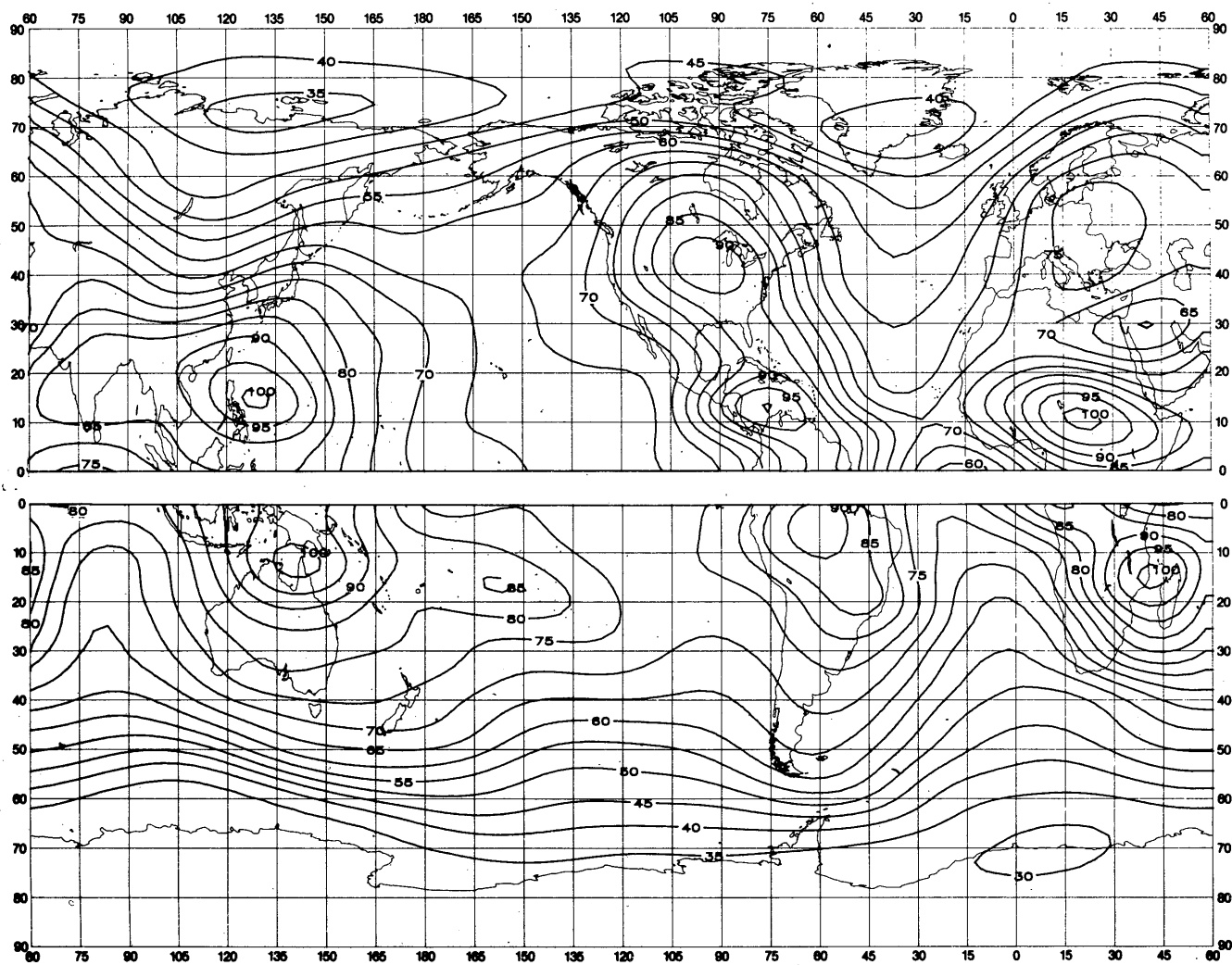


FIGURE 19a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Eté; 2000-2400 heure locale)

FIGURE 19a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Summer; 2000-2400 LT)

FIGURA 19a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Verano; 2000-2400 hora local)

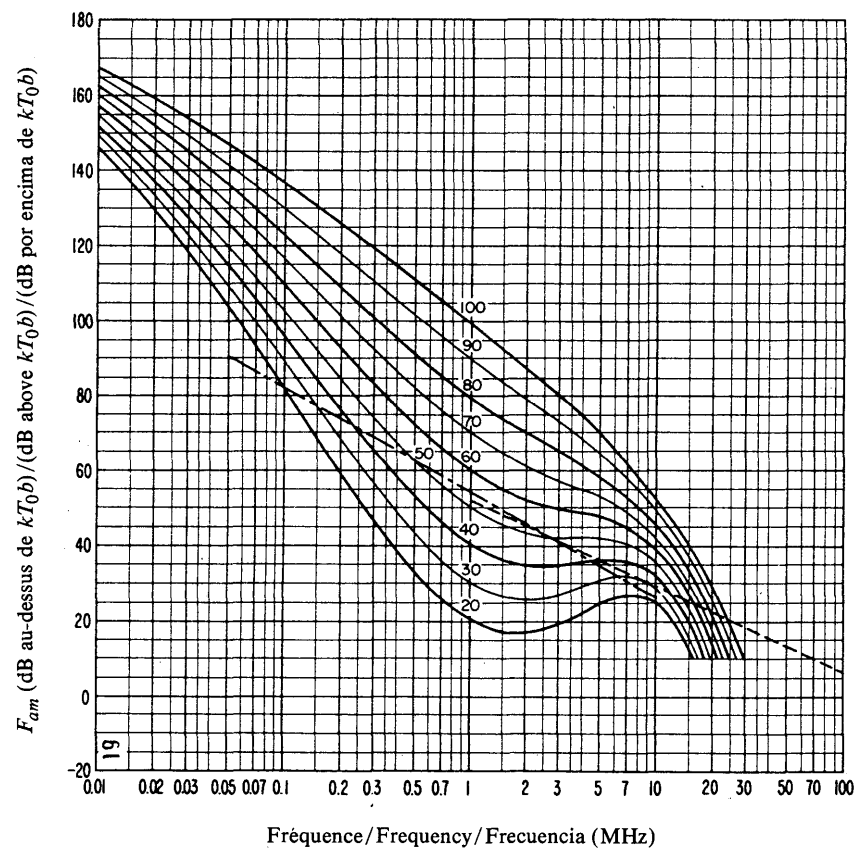


FIGURE 19b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Été; 2000-2400 heure locale)

FIGURE 19b — Variation of radio noise with frequency
(Summer; 2000-2400 LT)

FIGURA 19b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Verano; 2000-2400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

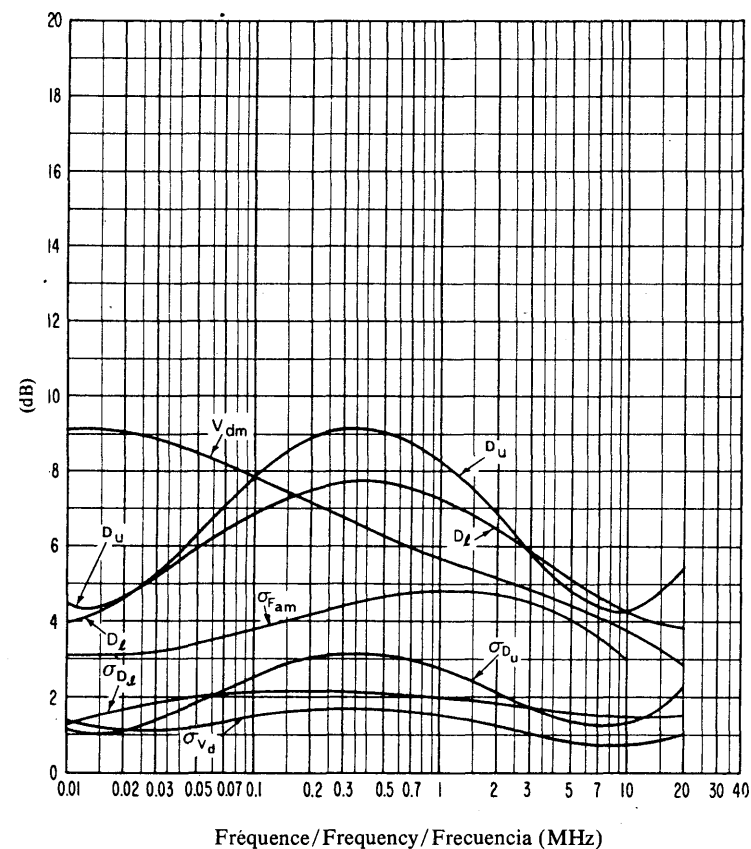


FIGURE 19c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Été; 2000-2400 heure locale)

FIGURE 19c — Data on noise variability and character
(Summer; 2000-2400 LT)

FIGURA 19c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Verano; 2000-2400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

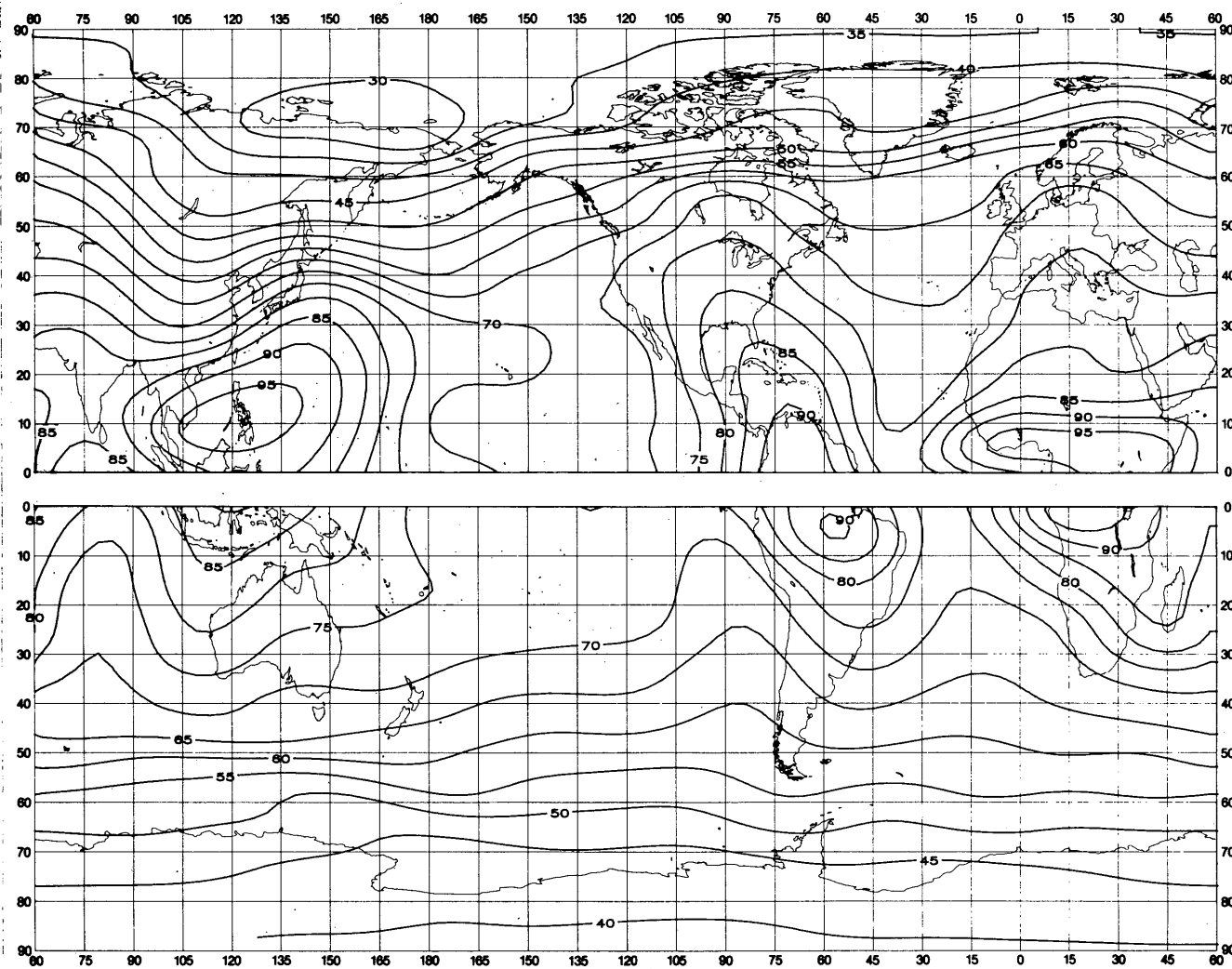


FIGURE 20a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Automne; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 20a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Autumn; 0000-0400 LT)

FIGURA 20a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Otoño; 0000-0400 hora local)

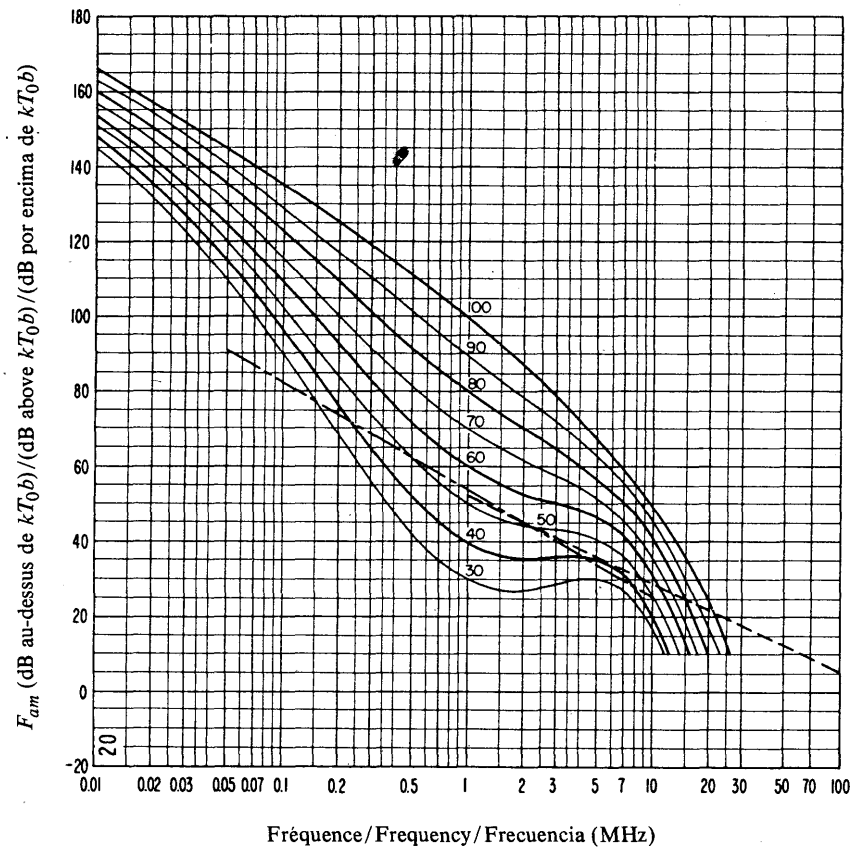


FIGURE 20b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Automne; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 20b — Variation of radio noise with frequency
(Autumn; 0000-0400 LT)

FIGURA 20b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Otoño; 0000-0400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

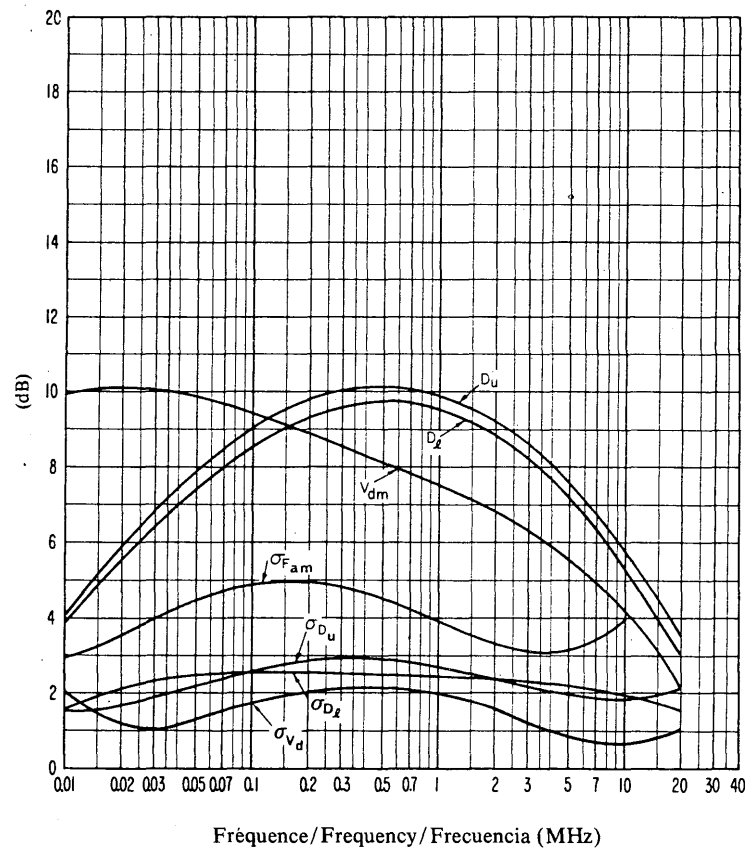


FIGURE 20c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Automne; 0000-0400 heure locale)

FIGURE 20c — Data on noise variability and character
(Autumn; 0000-0400 LT)

FIGURA 20c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Otoño; 0000-0400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

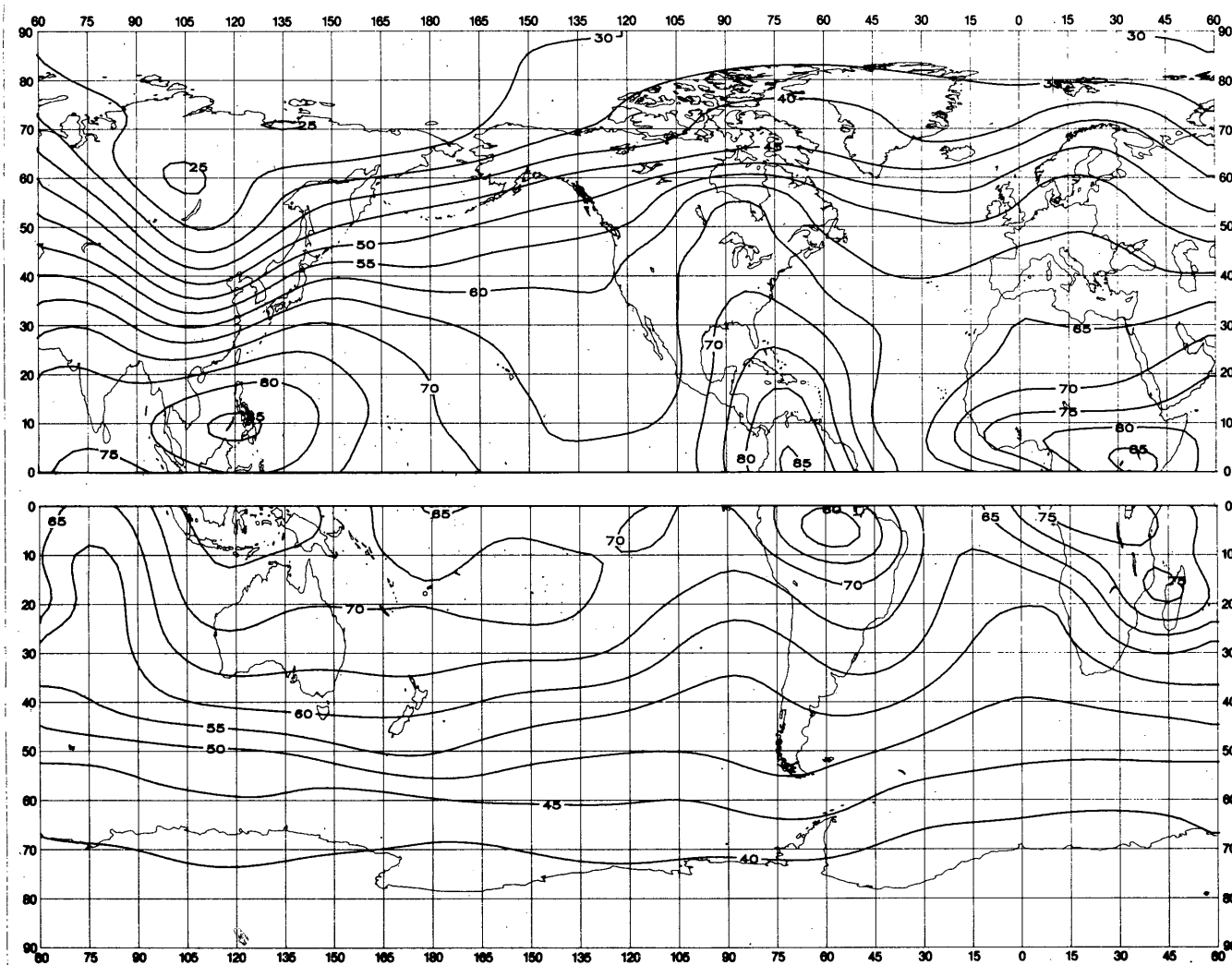


FIGURE 21a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Automne; 0400-0800 heure locale)

FIGURE 21a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Autumn; 0400-0800 LT)

FIGURA 21a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Otoño; 0400-0800 hora local)

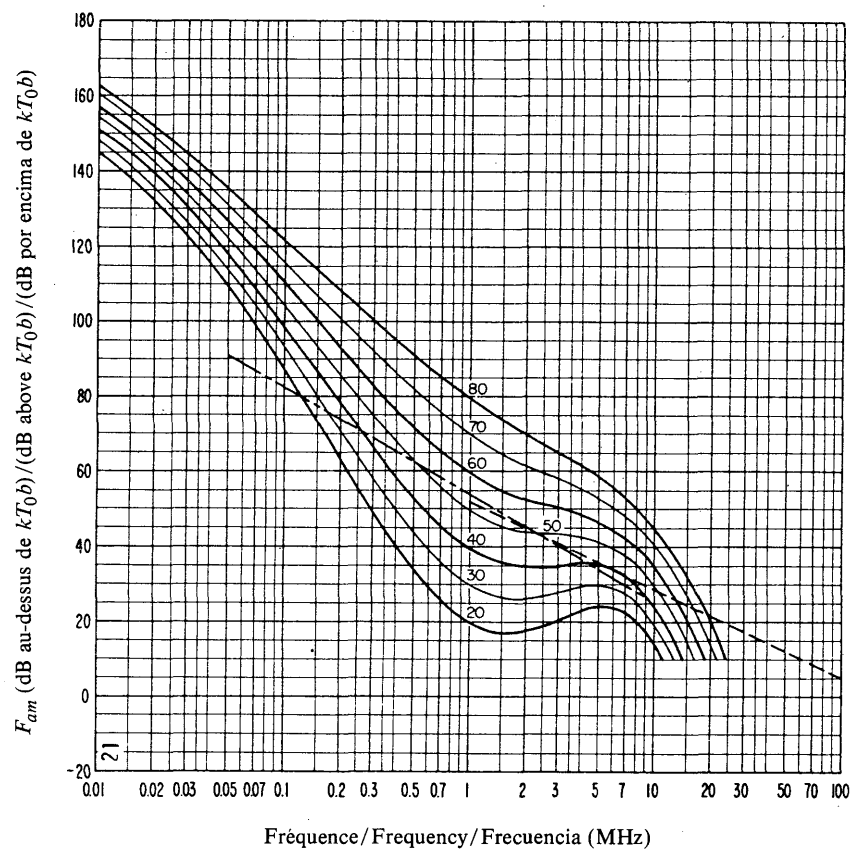


FIGURE 21b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Automne; 0400-0800 heure locale)

FIGURE 21b — Variation of radio noise with frequency
(Autumn; 0400-0800 LT)

FIGURA 21b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Otoño; 0400-0800 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

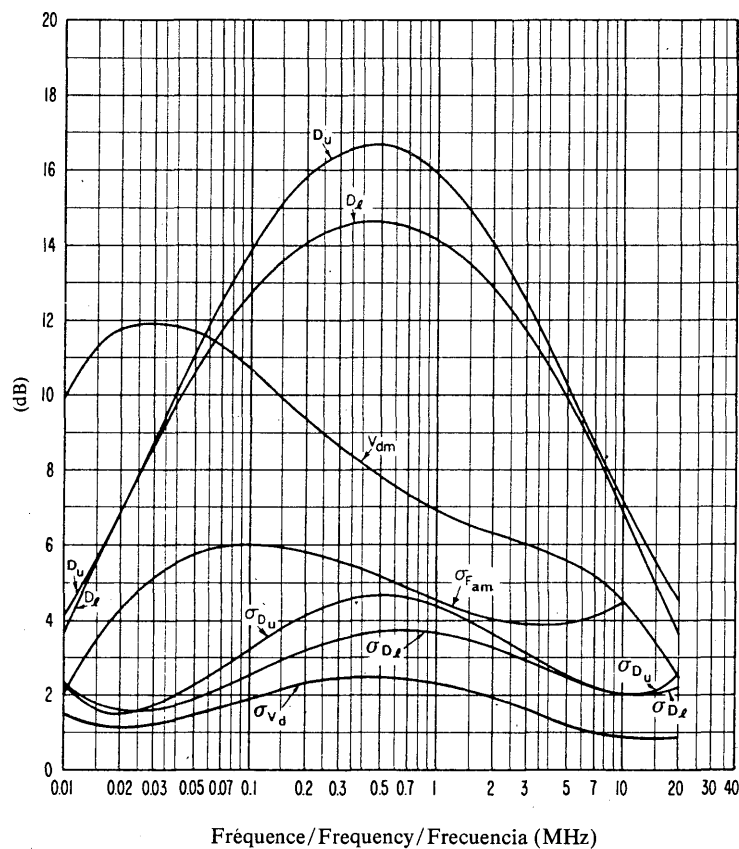


FIGURE 21c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Automne; 0400-0800 heure locale)

FIGURE 21c — Data on noise variability and character
(Autumn; 0400-0800 LT)

FIGURA 21c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Otoño; 0400-0800 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

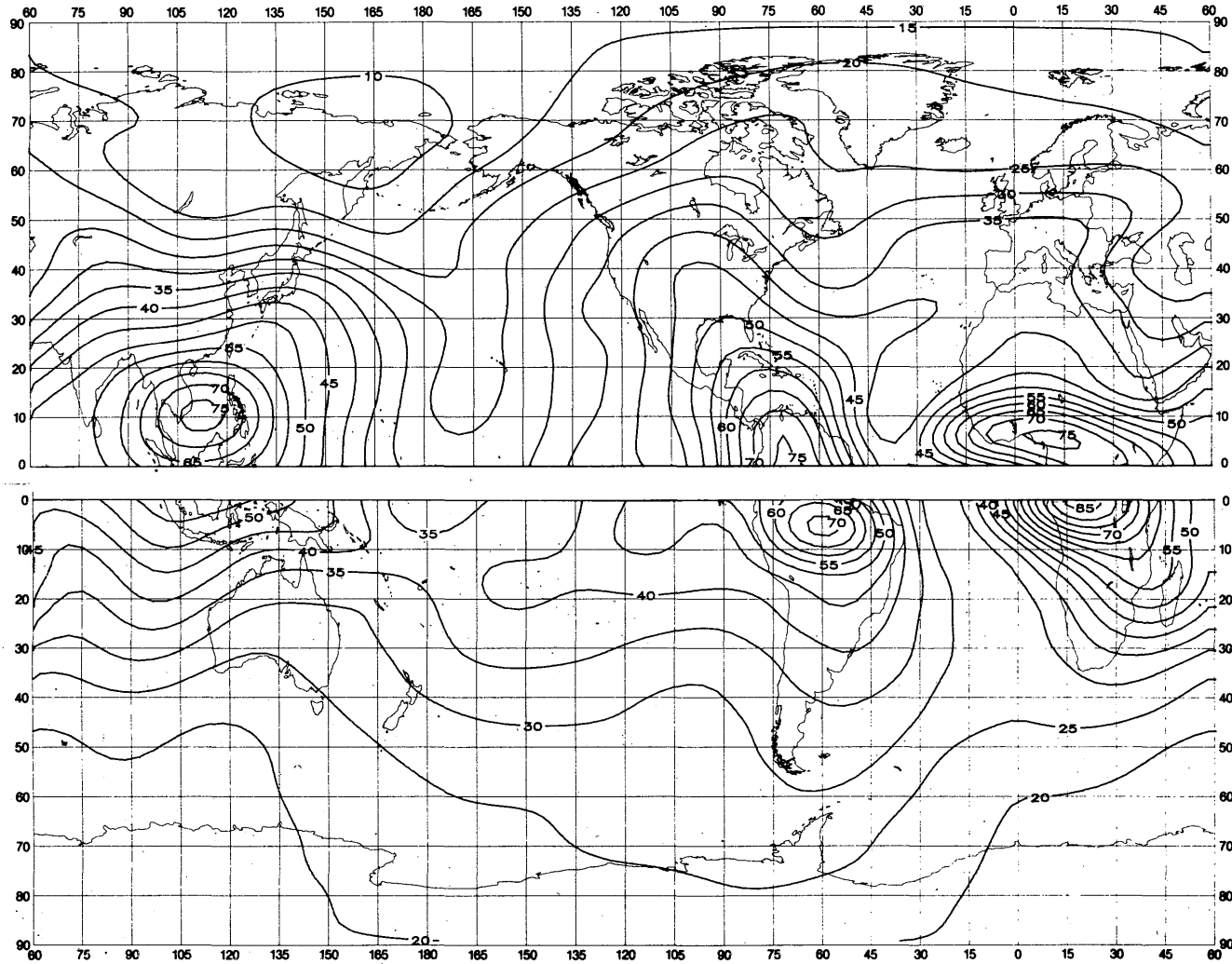


FIGURE 22a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Automne; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 22a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Autumn; 0800-1200 LT)

FIGURA 22a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Otoño; 0800-1200 hora local)

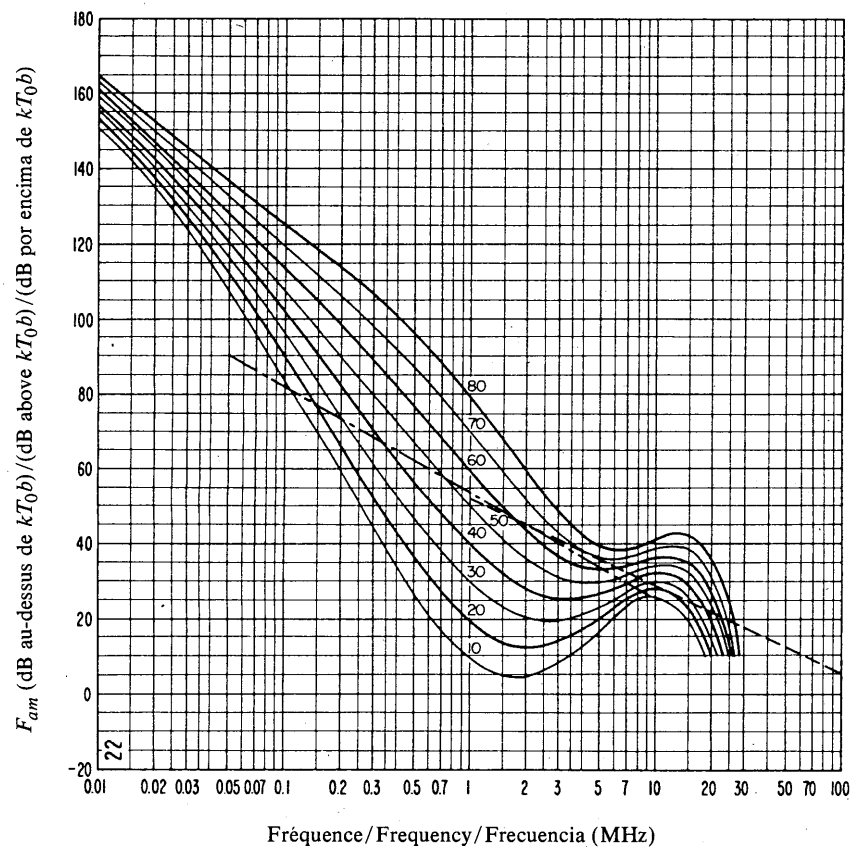


FIGURE 22b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Automne; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 22b — Variation of radio noise with frequency
(Autumn; 0800-1200 LT)

FIGURA 22b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Otoño; 0800-1200 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

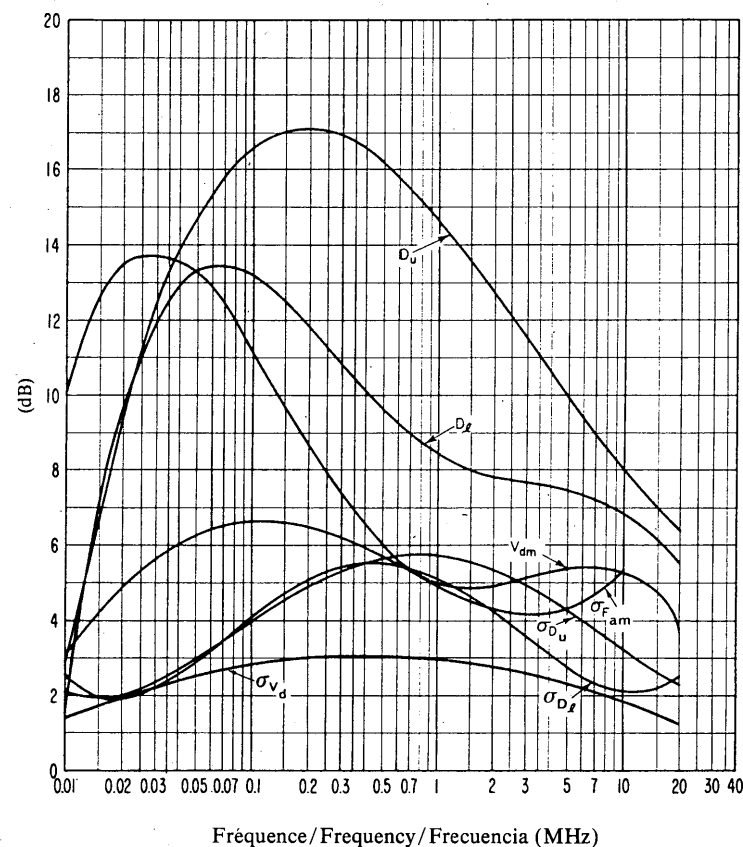


FIGURE 22c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Automne; 0800-1200 heure locale)

FIGURE 22c — Data on noise variability and character
(Autumn; 0800-1200 LT)

FIGURA 22c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Otoño; 0800-1200 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

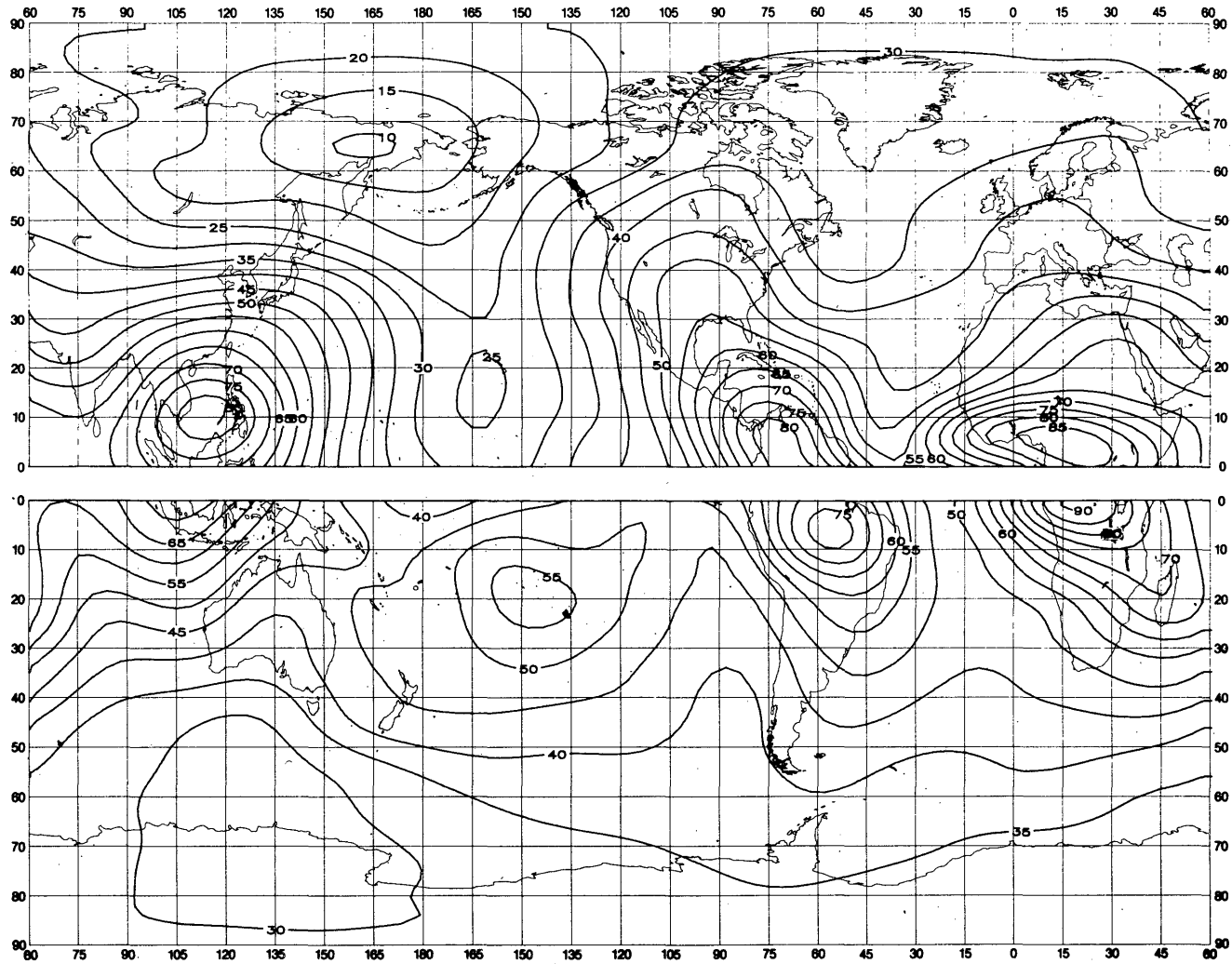


FIGURE 23a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Automne; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 23a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Autumn; 1200-1600 LT)

FIGURA 23a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Otoño; 1200-1600 hora local)

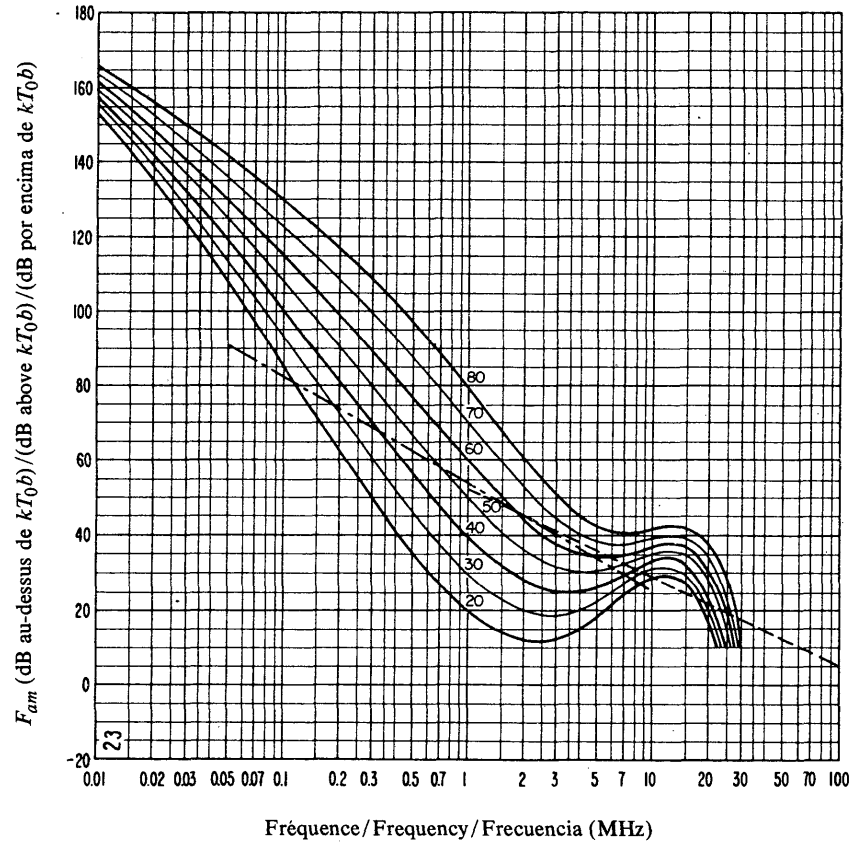


FIGURE 23b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Automne; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 23b — Variation of radio noise with frequency
(Autumn; 1200-1600 LT)

FIGURA 23b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Otoño; 1200-1600 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

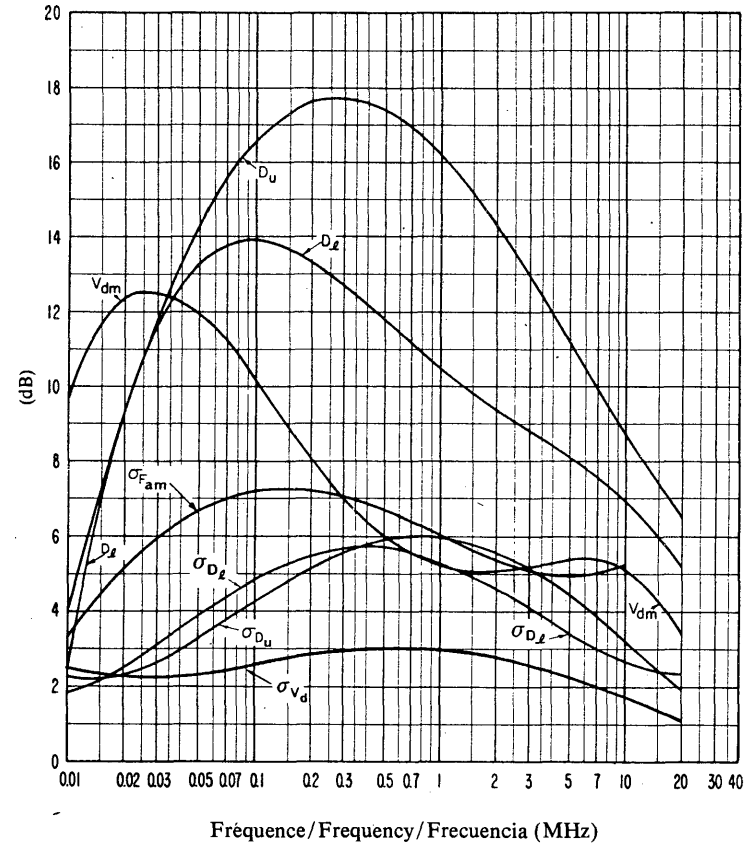


FIGURE 23c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Automne; 1200-1600 heure locale)

FIGURE 23c — Data on noise variability and character
(Autumn; 1200-1600 LT)

FIGURA 23c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Otoño; 1200-1600 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

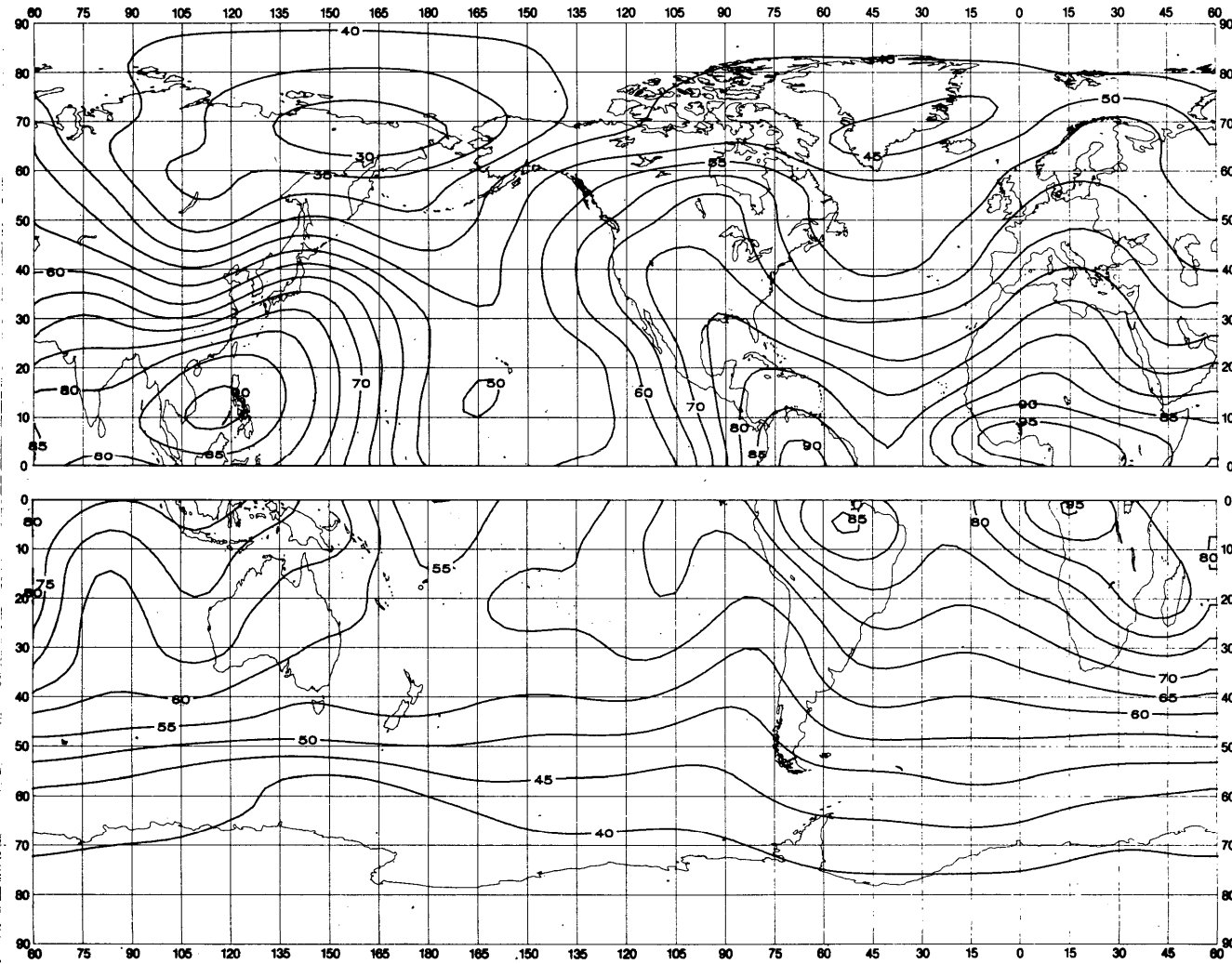


FIGURE 24a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Automne; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 24a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_{0b} at 1 MHz) (Autumn; 1600-2000 LT)

FIGURA 24a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Otoño; 1600-2000 hora local)

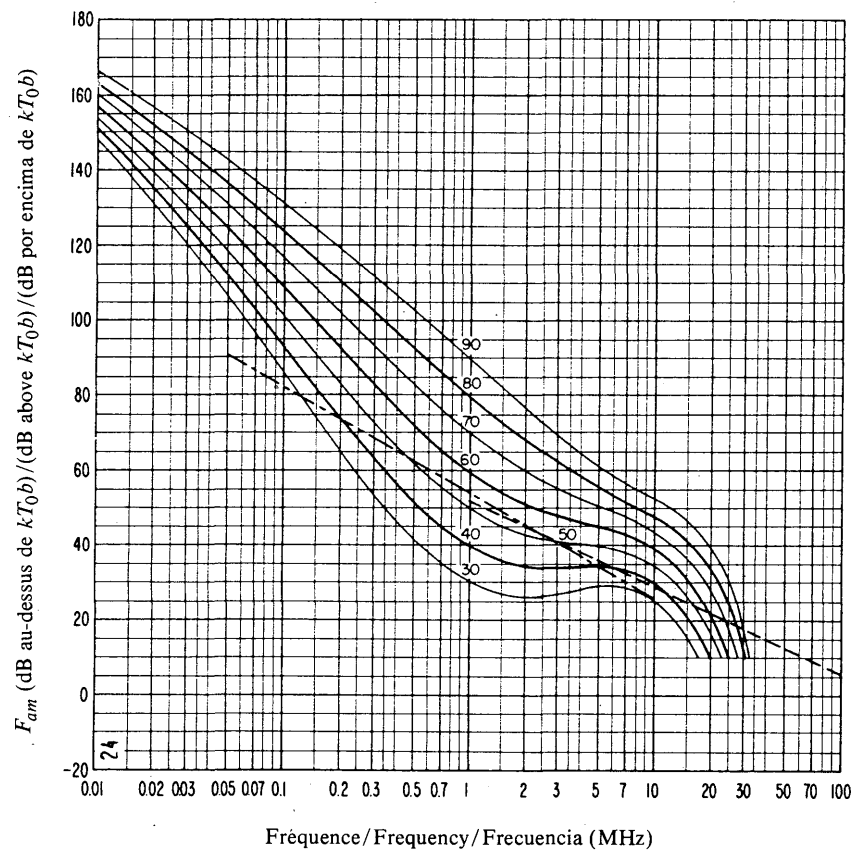


FIGURE 24b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence
(Automne; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 24b — Variation of radio noise with frequency
(Autumn; 1600-2000 LT)

FIGURA 24b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Otoño; 1600-2000 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

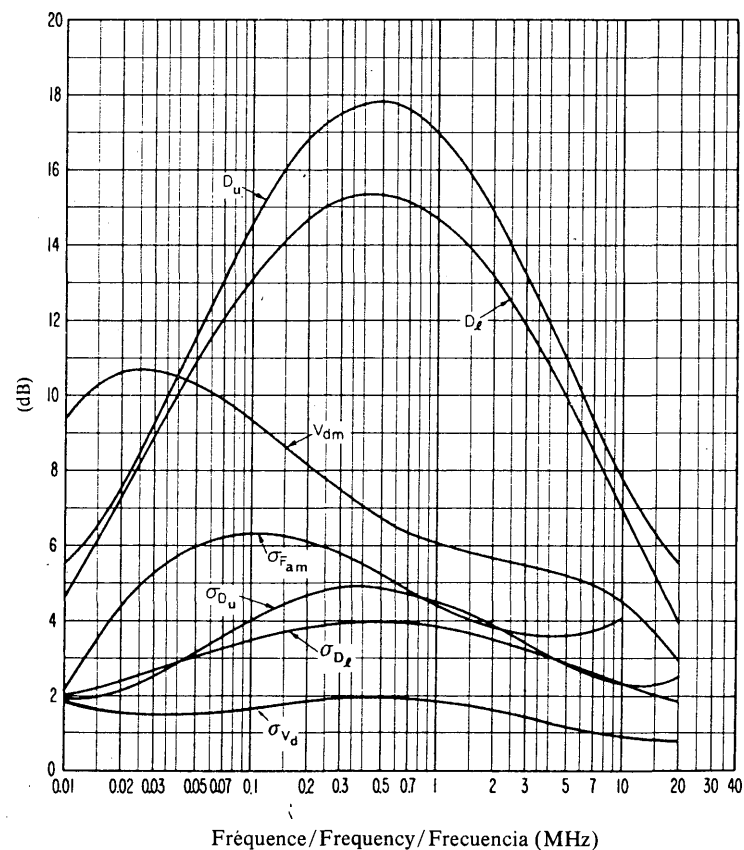


FIGURE 24c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit
(Automne; 1600-2000 heure locale)

FIGURE 24c — Data on noise variability and character
(Autumn; 1600-2000 LT)

FIGURA 24c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Otoño; 1600-2000 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

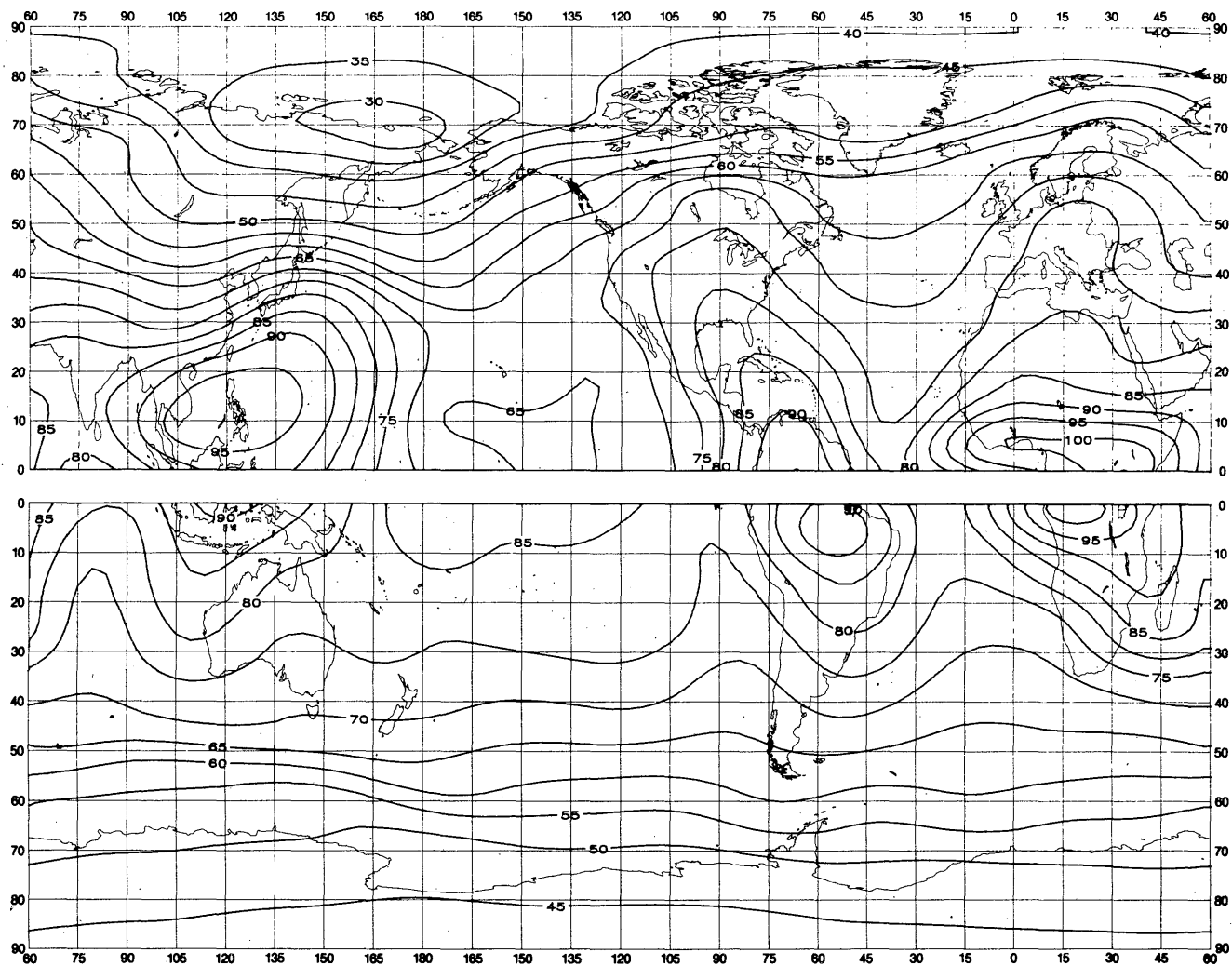


FIGURE 25a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Automne; 2000-2400 heure locale)

FIGURE 25a — Expected values of atmospheric radio noise, F_{am} (dB above kT_0b at 1 MHz) (Autumn; 2000-2400 LT)

FIGURA 25a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Otoño; 2000-2400 hora local)

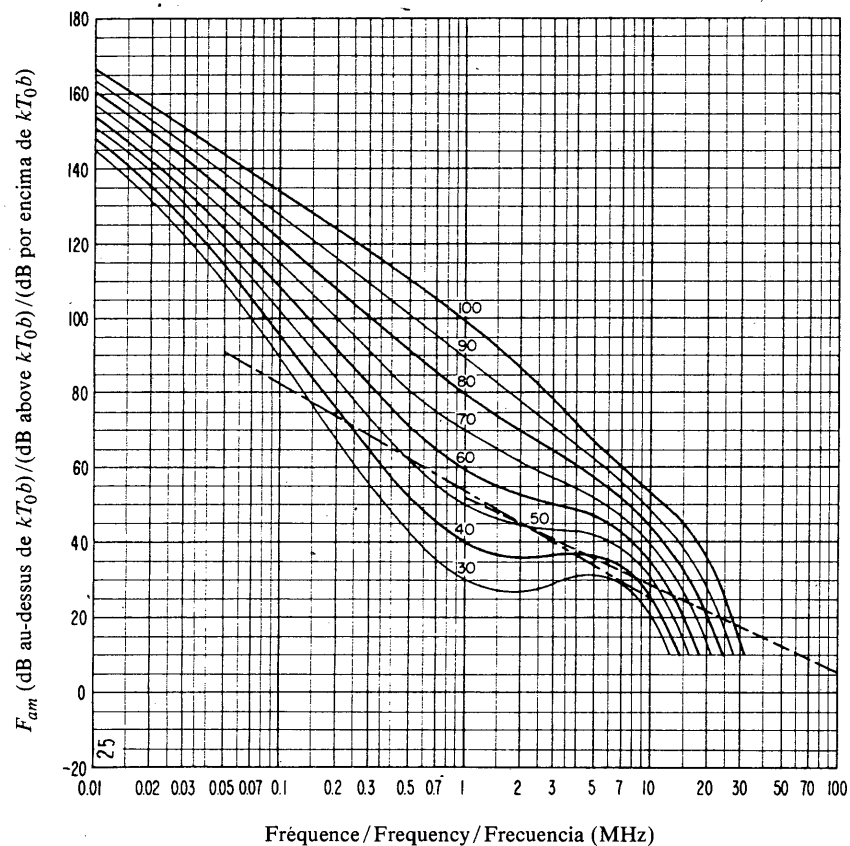


FIGURE 25b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Automne; 2000-2400 heure locale).

FIGURE 25b — Variation of radio noise with frequency (Autumn; 2000-2400 LT)

FIGURA 25b — Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Otoño; 2000-2400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2b/See legend of Fig. 2b/Véase la leyenda de la fig. 2b

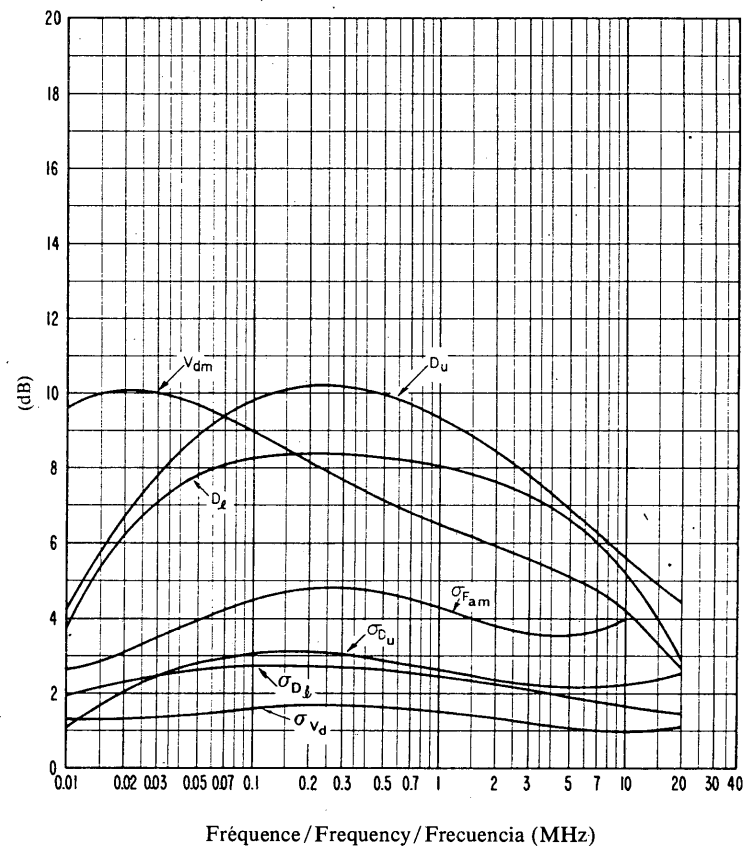


FIGURE 25c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Automne; 2000-2400 heure locale)

FIGURE 25c — Data on noise variability and character (Autumn; 2000-2400 LT)

FIGURA 25c — Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Otoño; 2000-2400 hora local)

Voir la légende de la Fig. 2c/See legend of Fig. 2c/Véase la leyenda de la fig. 2c

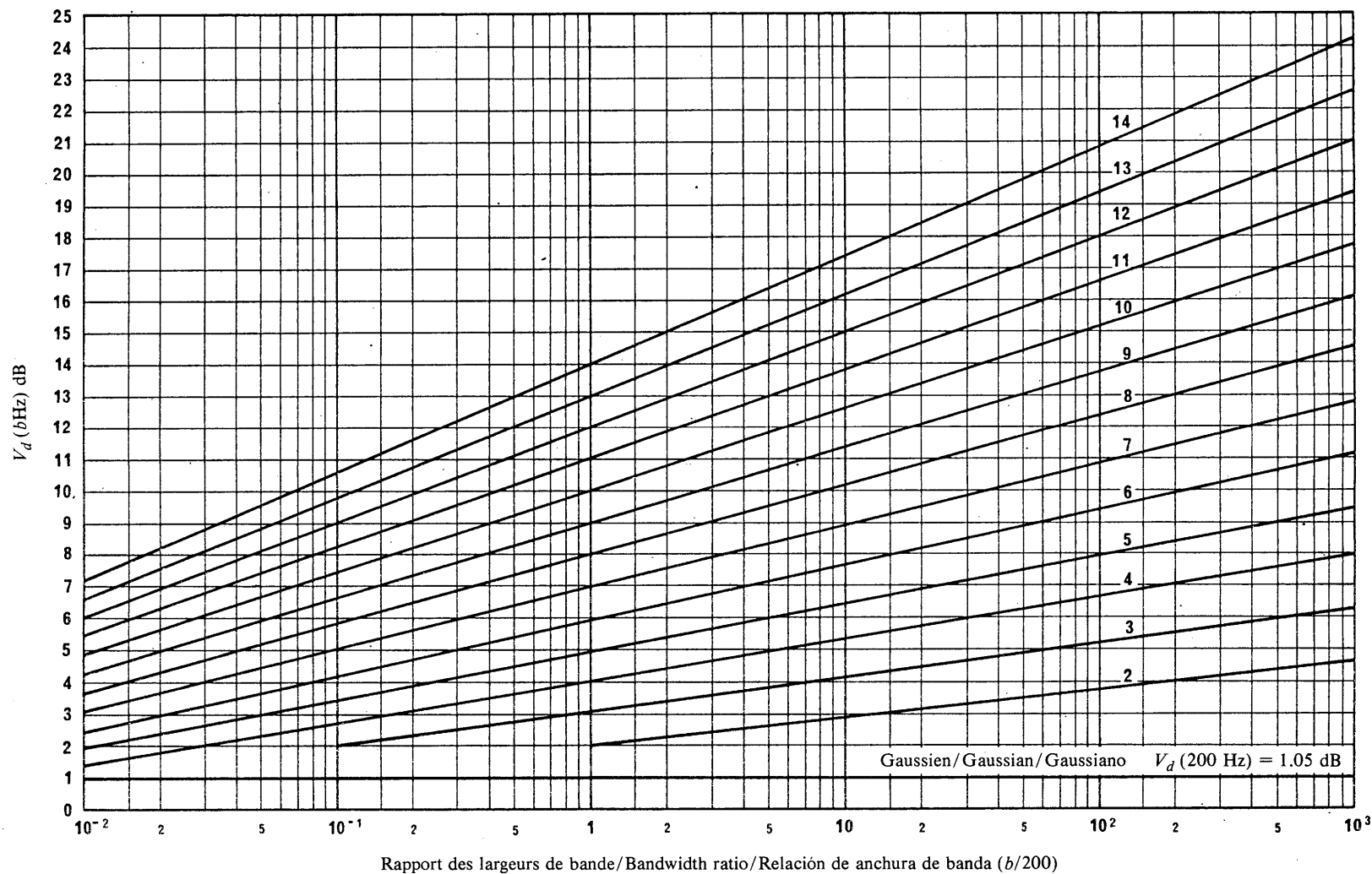
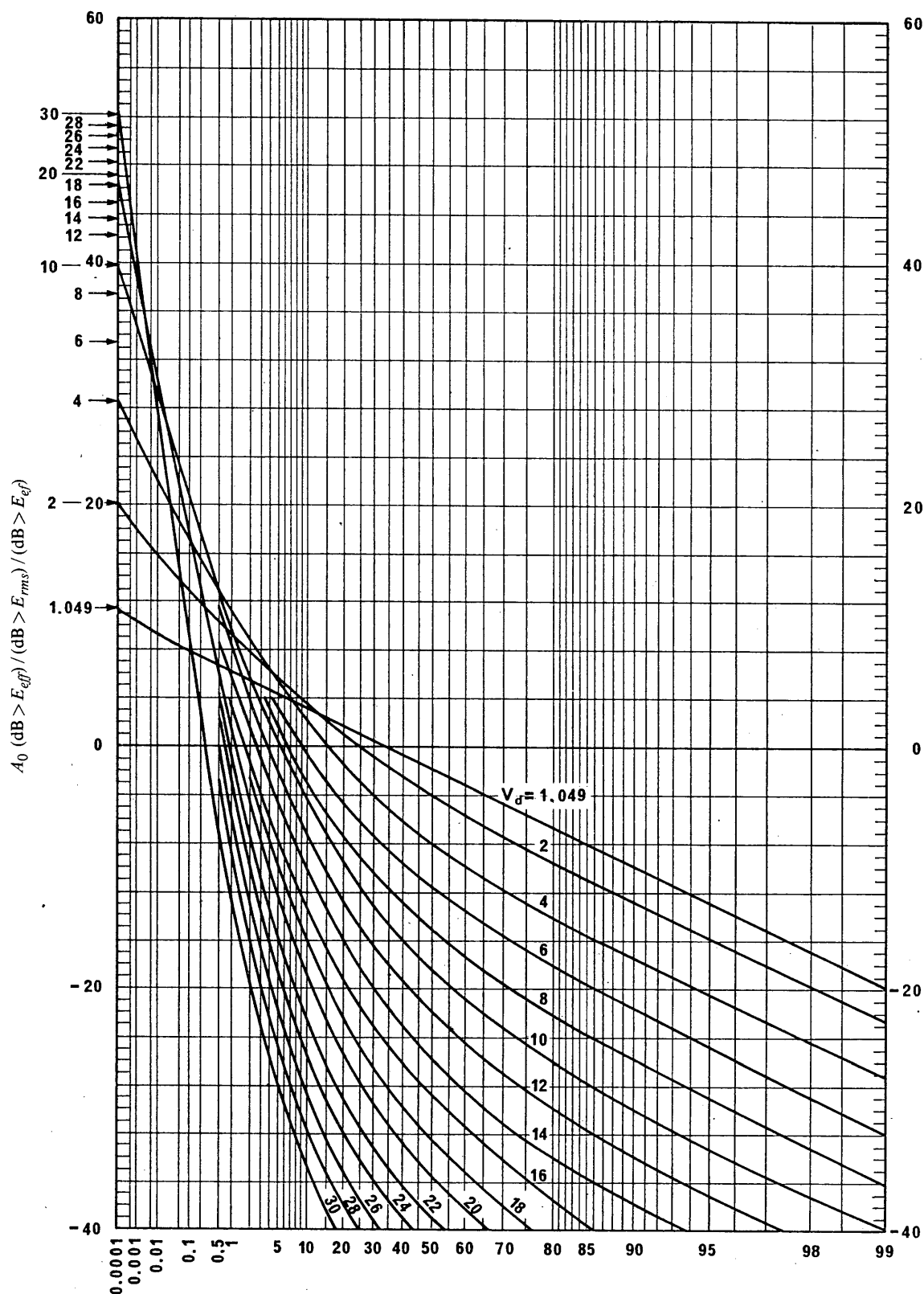


FIGURE 26 — Conversion des valeurs de V_d valables pour une largeur de bande de 200 Hz, V_{dm} , en valeurs de V_d valables pour d'autres largeurs de bande, b

FIGURE 26 — Translation of a 200 Hz bandwidth V_d , V_{dm} , to other bandwidths, b

FIGURA 26 — Conversión de V_d para una anchura de banda de 200 Hz, V_{dm} , en valores para otras anchuras de banda, b



Pourcentage du temps pendant lequel la valeur de l'ordonnée est dépassée / Percentage of time ordinate exceeded /
 Porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el valor de ordenadas

FIGURE 27 — Distributions de probabilité d'amplitude du bruit atmosphérique radioélectrique pour différentes valeurs de V_d

FIGURE 27 — Amplitude probability distributions for atmospheric radio noise for various values of V_d

FIGURA 27 — Distribuciones de la probabilidad de amplitud (DPA) del ruido radioeléctrico atmosférico para diversos valores de V_d

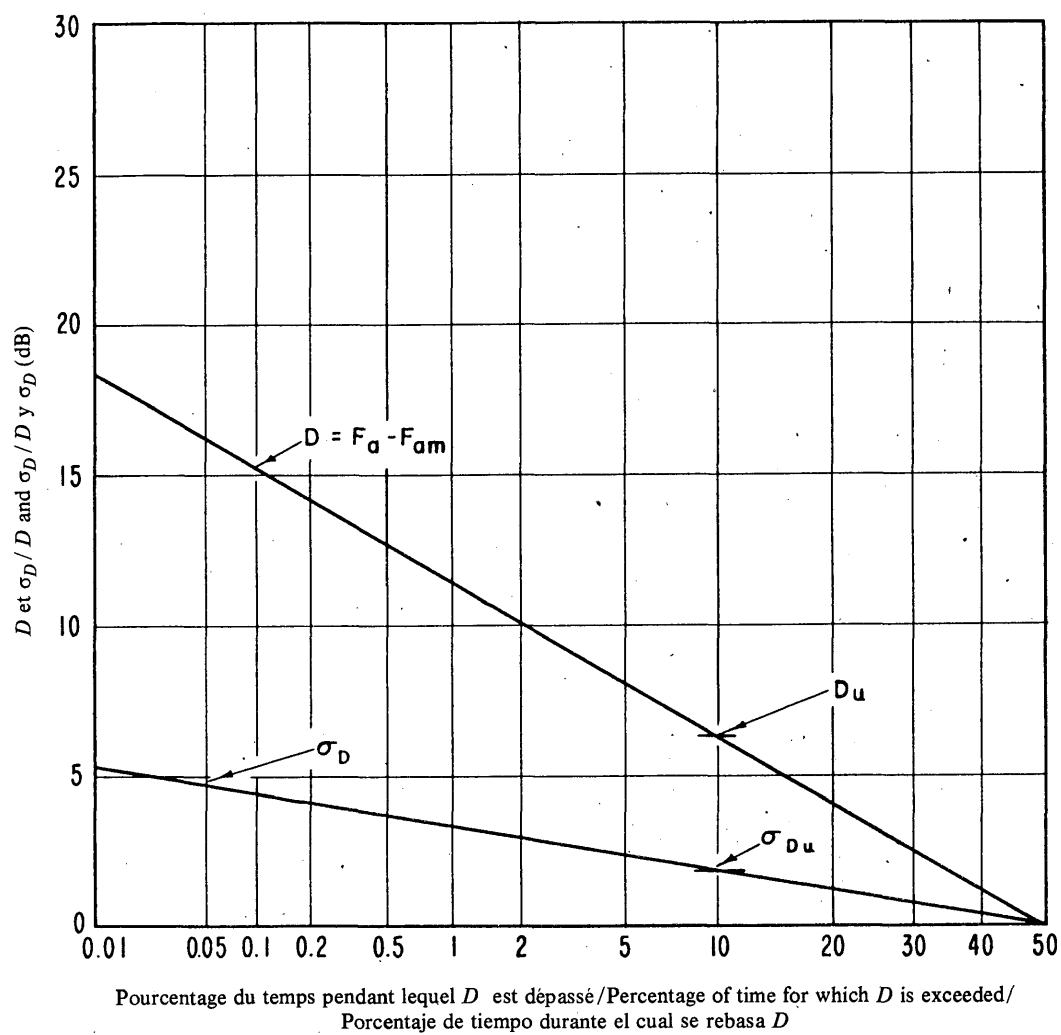


FIGURE 28 — Valeurs attendues de D et de leurs écarts types σ_D
 FIGURE 28 — Expected values of D and their standard deviations σ_D
 FIGURA 28 — Valores probables de D y de sus desviaciones típicas, σ_D

Été; 2000-2400 heure locale
 Fréquence: 50 kHz

Summer; 2000-2400 LT
 Frequency: 50 kHz

Verano; 2000-2400 hora local
 Frecuencia: 50 kHz

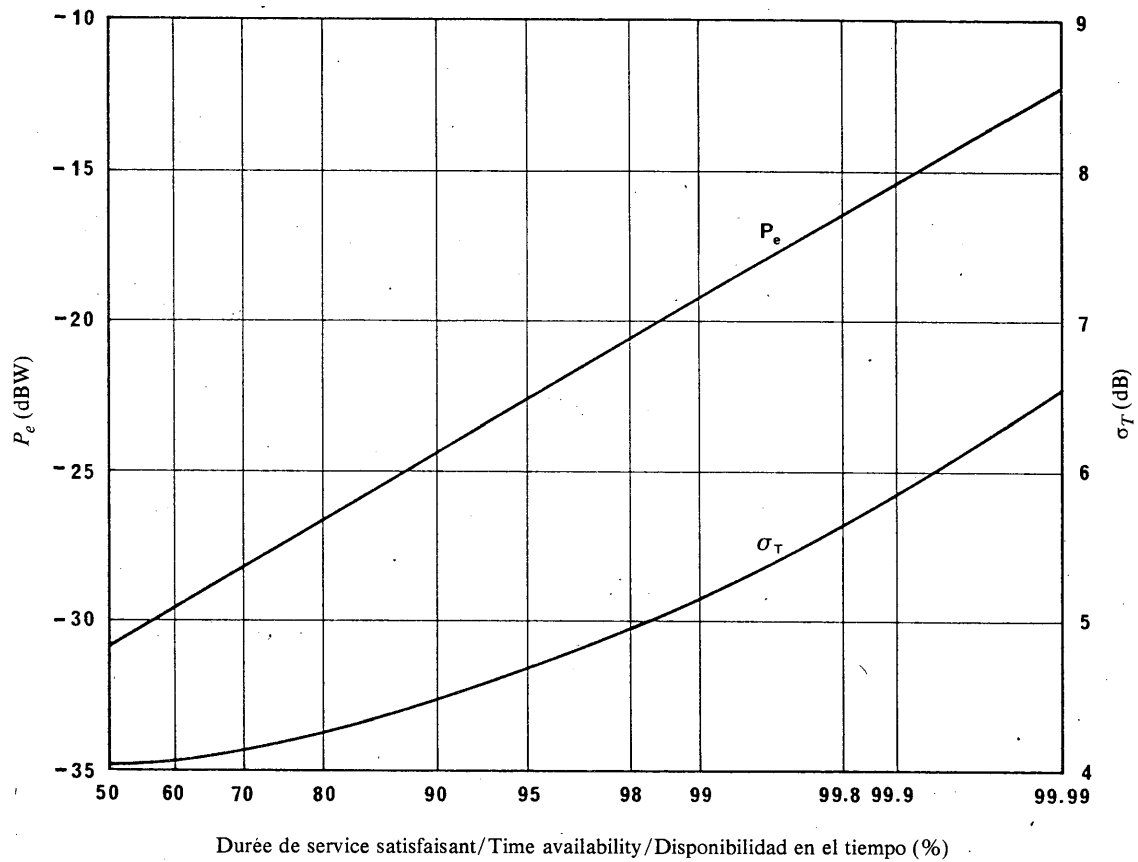


FIGURE 29 — Valeurs de P_e et de leurs écarts types σ_T
 FIGURE 29 — Values of P_e and their standard deviations σ_T
 FIGURA 29 — Valores de P_e y de sus desviaciones típicas, σ_T

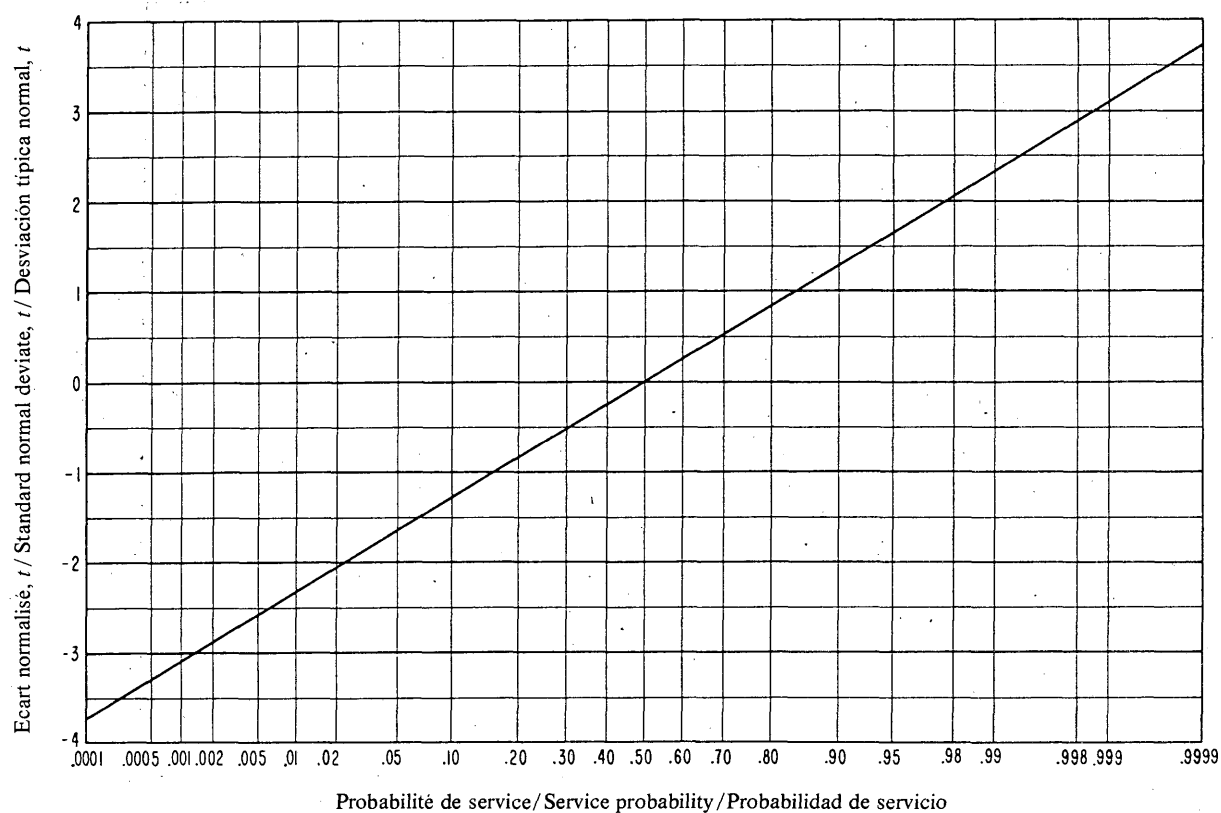


FIGURE 30 — *Probabilité de service en fonction de l'écart normalisé t*
 FIGURE 30 — *Service probability as a function of the standard normal deviate, t*
 FIGURA 30 — *Probabilidad de servicio en función de la desviación típica normal, t*

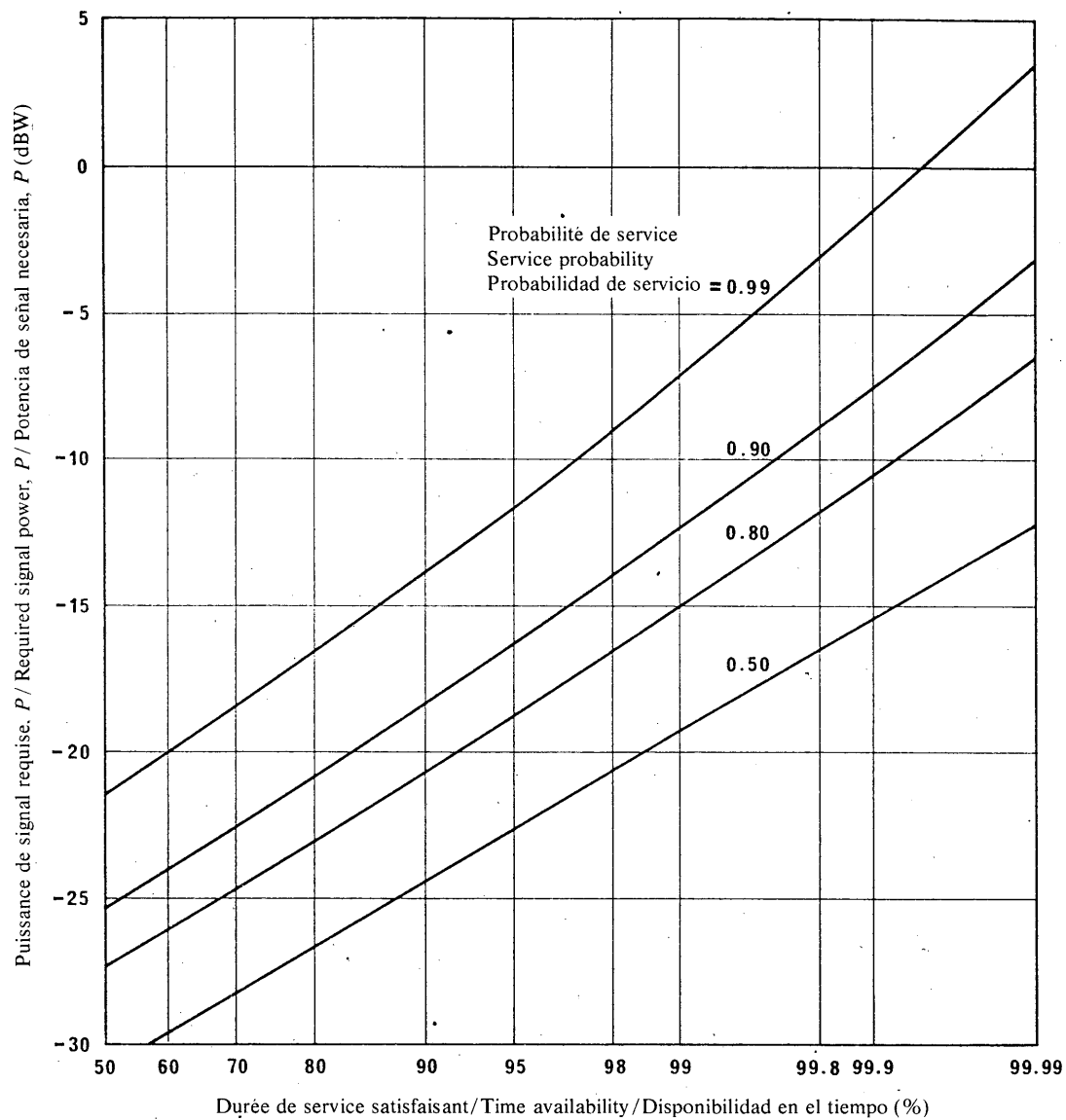


FIGURE 31 — Puissance de signal requise en fonction de la durée de service satisfaisant, pour différentes probabilités de service (niveaux de confiance)

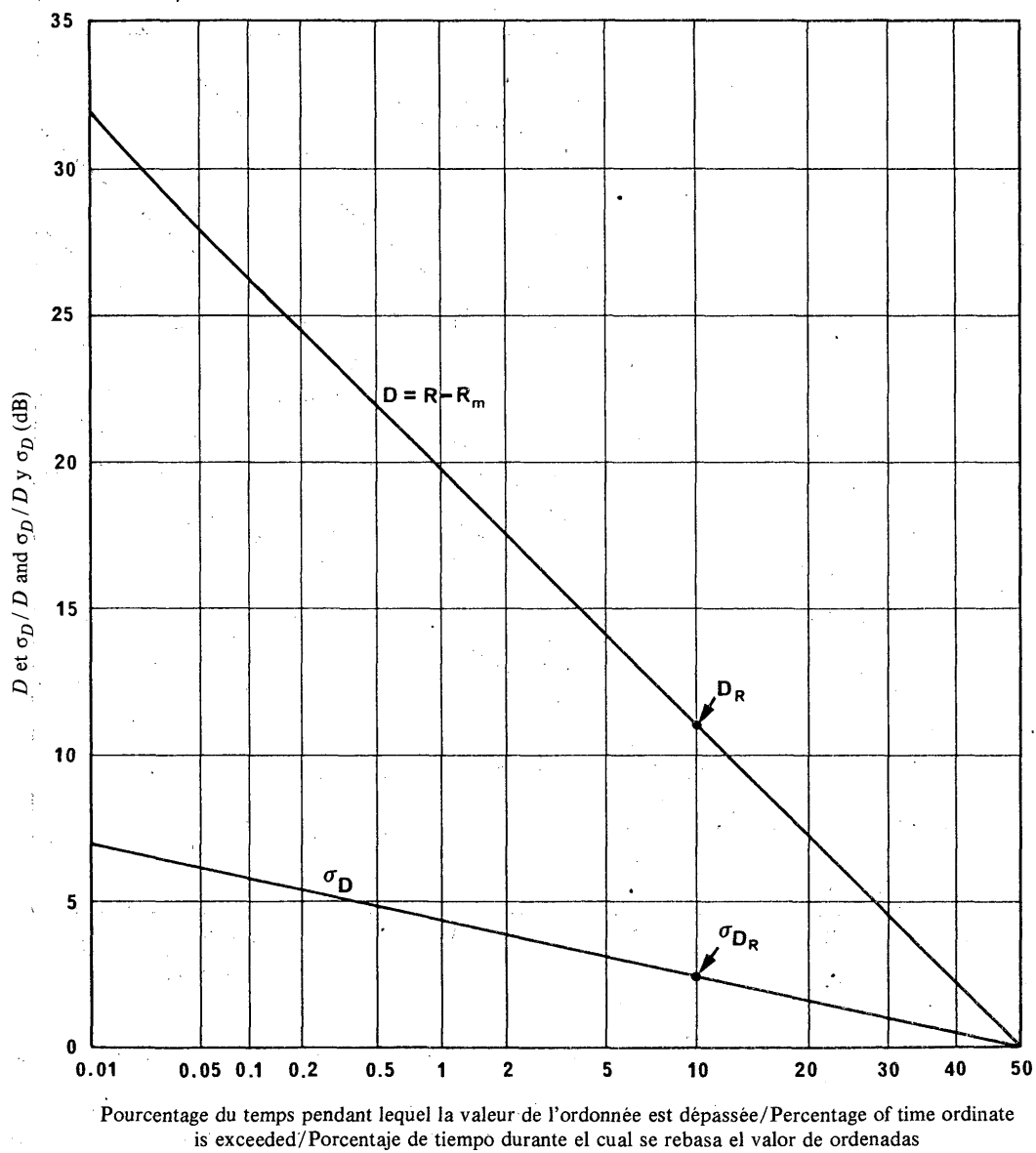
FIGURE 31 — Required signal power versus time availability for various service probabilities (confidence levels)

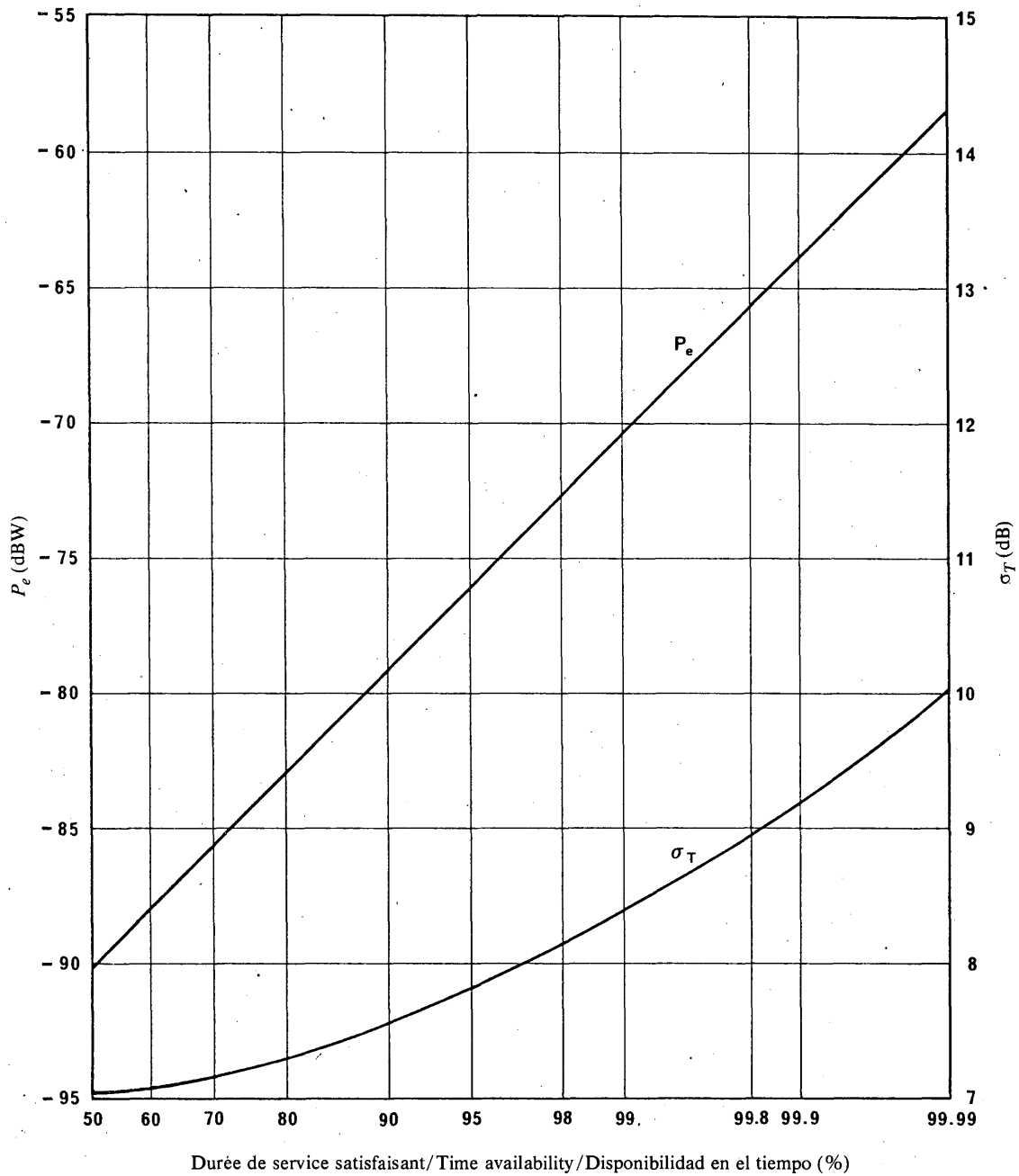
FIGURA 31 — Potencia de señal necesaria, P , en función de la disponibilidad en el tiempo para diversos valores de la probabilidad de servicio (niveles de confianza)

Genève, Suisse
 Été: 2000-2400 heure locale
 Fréquence: 50 kHz
 Largeur de bande: 100 Hz
 Erreur binaire: 5×10^{-4}
 Type de service: non cohérent à MDF

Geneva, Switzerland
 Summer: 2000-2400 LT
 Frequency: 50 kHz
 Bandwidth: 100 Hz
 Binary errors: 5×10^{-4}
 Type of service: NCFSK

Ginebra, Suiza
 Verano: 2000-2400 hora local
 Frecuencia: 50 kHz
 Anchura de banda: 100 Hz
 Errores binarios: 0.05%
 Tipo de servicio: MDF no coherente

FIGURE 32 — Valeurs de D et de leurs écarts types σ_D FIGURE 32 — Values of D and their standard deviations σ_D FIGURA 32 — Valores de D y de sus desviaciones típicas, σ_D

FIGURE 33 - Valeurs de P_e et de leurs écarts types σ_T FIGURE 33 - Values of P_e and their standard deviations σ_T FIGURA 33 - Valores de P_e y de sus desviaciones típicas, σ_T

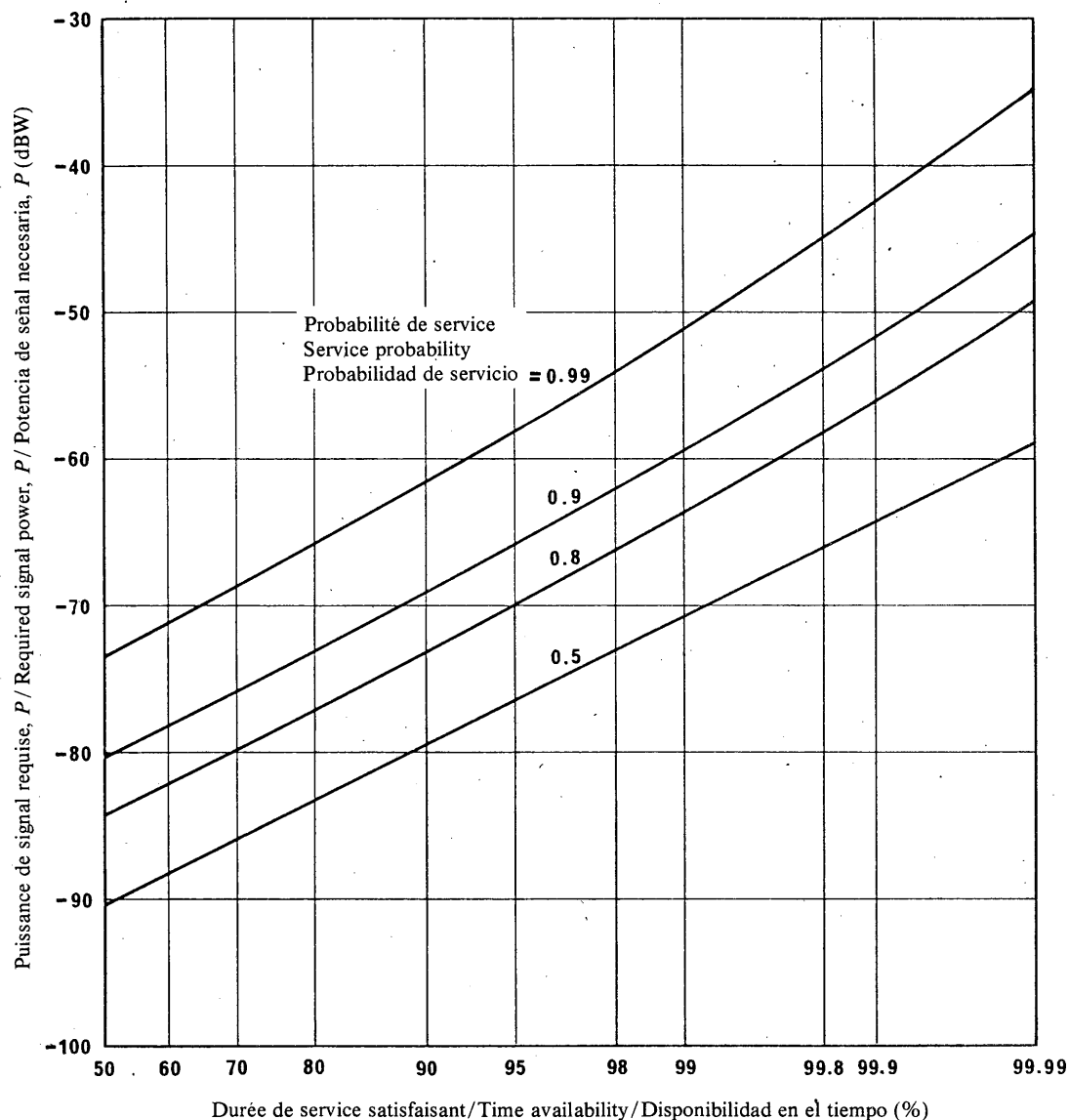


FIGURE 34 — Puissance de signal requise en fonction de la durée de service satisfaisant, pour différentes probabilités de service (niveaux de confiance)

FIGURE 34 — Required signal power versus time availability for various service probabilities (confidence levels)

FIGURA 34 — Potencia de señal necesaria, P , en función de la disponibilidad en el tiempo para diversos valores de la probabilidad de servicio (niveles de confianza)

Genève, Suisse
 Été: 2000-2400 heure locale
 Fréquence: 5 MHz
 Largeur de bande: 6 kHz
 Téléphonie A3E, qualité tout juste commerciale

Geneva, Switzerland
 Summer: 2000-2400 LT
 Frequency: 5 MHz
 Bandwidth: 6 kHz
 A3E telephony, marginally commercial service

Ginebra, Suiza
 Verano: 2000-2400 hora local
 Frecuencia: 5 MHz
 Anchura de banda: 6 kHz
 Telefonía A3E, servicio marginalmente comercial

Imprimé en Suisse
Printed in Switzerland
Impreso en Suiza

ISBN 92-61-03027-0