



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.



UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS

**CCIR**

COMITÉ CONSULTATIF  
INTERNATIONAL  
DES RADIOCOMMUNICATIONS

**RAPPORT 322-2**

**CARACTÉRISTIQUES  
DES BRUITS ATMOSPHÉRIQUES  
RADIOÉLECTRIQUES  
ET APPLICATIONS**



Genève, 1983



UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS

**CCIR**

COMITÉ CONSULTATIF  
INTERNATIONAL  
DES RADIOCOMMUNICATIONS

**RAPPORT 322-2**

**CARACTÉRISTIQUES  
DES BRUITS ATMOSPHÉRIQUES  
RADIOÉLECTRIQUES  
ET APPLICATIONS**



Genève, 1983

ISBN 92-61-01742-8



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
Liste des notations . . . . .	1
1. Introduction . . . . .	2
2. Prévisions du bruit radioélectrique . . . . .	2
3. Définition des paramètres utilisés . . . . .	3
4. Méthodes utilisées pour établir les prévisions . . . . .	5
5. Données de bruit ou prévisions des bruits . . . . .	5
6. Application des données sur le bruit à l'évaluation de la qualité de fonctionnement d'un système radioélectrique . . . . .	7
7. Influence de la directivité et de la polarisation des antennes . . . . .	11

---

## RAPPORT 322-2

### CARACTÉRISTIQUES DES BRUITS ATMOSPHÉRIQUES RADIOÉLECTRIQUES ET APPLICATIONS

(Programme d'études 29B 6)

(1963-1974-1982)

#### 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 du bruit (dB)
- $A_{eff}$  Valeur efficace de  $A$  (dB)
- $b, B$  Largeur de bande équivalente de bruit dans le récepteur (Hz) ( $B = 10 \log b$ )
- $C$  Facteur de protection nécessaire pour fournir la valeur requise du rapport signal/bruit pendant un pourcentage donné du temps dans la tranche de temps (dB)
- $C_u$  Facteur de protection nécessaire pour fournir la valeur requise du rapport signal/bruit pendant 90% de la tranche de temps (dB)
- $D$  Ecart d'une valeur horaire de  $F_a$  par rapport à la valeur médiane  $F_{am}$  pour la tranche de temps (dB)
- $D_l$  Valeur de la puissance de bruit moyenne dépassée pendant 90% des heures à l'intérieur d'une tranche de temps (en dB au-dessous de la valeur médiane  $F_{am}$  pour la tranche de temps)
- $D_s$  Valeur de la puissance du signal reçu dépassée pendant 90% du temps (en dB au-dessous de la valeur médiane des variations d'un jour à l'autre de la médiane horaire)
- $D_u$  Valeur de la puissance moyenne de bruit dépassée pendant 10% des heures à l'intérieur d'une tranche de temps (en dB au-dessus de la valeur médiane  $F_{am}$  pour la tranche de temps)
- $E_c$  Valeur du champ du signal probablement requise pour une qualité de service donnée (dB( $\mu$ V/m))
- $E_n$  Moyenne quadratique du champ de bruit pour une largeur de bande de 1 kHz (dB( $\mu$ V/m))
- $f, F$  Facteur de bruit de fonctionnement d'un système de réception ( $F = 10 \log f$ )
- $f_a, F_a$  Facteur de bruit équivalent d'antenne résultant de la puissance de bruit externe disponible sur une antenne sans pertes ( $F_a = \log f_a$ )
- $F_{am}$  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
- $P$  Puissance du signal reçu disponible sur une antenne équivalente sans pertes (dB)
- $P_c$  Valeur prévue de  $P$
- $P_{me}$  Valeur médiane de  $P_c$
- $p_n, P_n$  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 une valeur donnée du rapport signal/bruit d'une antenne sans pertes ( $P_s = 10 \log p_s$ )
- $r, R$  Valeur requise du rapport signal/bruit ( $R = 10 \log r$ )
- $R_b$  Valeur du rapport porteuse/bruit nécessaire pour obtenir une qualité de service donnée pendant un certain pourcentage de l'heure (dB)
- $RPA$  Fonction cumulative de répartition de probabilité des amplitudes de l'enveloppe du bruit

$t$	Ecart normalisé
$T_a$	Température équivalente de l'antenne en présence d'un bruit externe
$T_0$	Température de référence (288 K)
$V_d$	Rapport de la tension efficace à la tension moyenne de l'enveloppe de bruit (dB)
$V_{dm}$	Valeur médiane de $V_d$
$\Delta$	$A - A_{eff}$
$\sigma_C$	Ecart type de $C$
$\sigma_D$	Ecart type de $D$
$\sigma_{Dl}$	Ecart type de $D_l$
$\sigma_{Du}$	Ecart type de $D_u$
$\sigma_{Fam}$	Ecart type de $F_{am}$
$\sigma_P$	Ecart type des estimations de la puissance du signal reçue
$\sigma_R$	Ecart type de $R$
$\sigma_T$	Ecart type total; incertitude totale sur $P_e$
$\sigma_\Delta$	Ecart type de $\Delta$

## 1. Introduction

La détermination du niveau minimal du signal nécessaire à une réception satisfaisante, en l'absence d'autres signaux radioélectriques brouilleurs, exige la connaissance du bruit qui sera présent en même temps que le signal utile. Tout le problème consiste à étudier le type de modulation et l'influence des caractéristiques fines du bruit sur la restitution de l'information contenue dans le signal émis.

Il existe plusieurs types de bruits capables d'influencer la réception, mais, en règle générale, un seul type prédomine dans un circuit particulier. Le bruit se divise en deux grandes catégories selon qu'il prend naissance dans le système de réception ou extérieurement à l'antenne. Le bruit interne est causé par les pertes dans l'antenne et dans la ligne de transmission, ou bien est produit dans le récepteur lui-même. Il a les caractéristiques d'un bruit thermique et, dans bien des cas, on peut déterminer mathématiquement, avec une excellente précision, son influence sur la réception des signaux.

Les bruits externes peuvent être classés 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 sur les fréquences inférieures à 30 MHz environ, l'étude portera plus particulièrement sur ce type de bruit et sur ses effets dans la réception des signaux.

L'objet de ce Rapport est de donner des valeurs de la puissance des bruits ainsi que de certaines autres de leurs caractéristiques et de montrer, sur des exemples, comment on peut utiliser ces paramètres de bruit et leurs variations statistiques lorsqu'on désire évaluer la qualité de transmission d'un circuit radioélectrique. Spaulding [1981] 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 radioélectriques (et de formes similaires de bruit impulsif) dans les systèmes de télécommunication. Les résultats récents concernant le bruit atmosphérique engendré par les éclairs et les moyens de mettre au point des systèmes de communication appropriés pouvant fonctionner à faible bruit sont résumés par l'URSI [1981], ainsi que dans le Rapport 254 et les références qui s'y rapportent. Enfin, les Rapports 258 et 670 donnent des renseignements supplémentaires sur le bruit atmosphérique et artificiel, et l'Avis 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, qu'ils soient ou non rayonnés intentionnellement. De plus, le bruit provenant des orages locaux n'a pas été inclus. Dans certaines régions du monde, le bruit provenant des orages locaux peut être important pendant un pourcentage du temps significatif. Ce bruit local peut aussi être important aux fréquences bien supérieures à 30 MHz.

## 2. Prévisions du bruit radioélectrique

Le présent Rapport donne:

- des prévisions qui tiennent compte d'un programme important et fiable de mesures de bruit;
- des informations statistiques sur la précision des prévisions;
- une description statistique de la structure fine du bruit;
- des méthodes permettant d'utiliser les prévisions pour l'évaluation de la qualité de fonctionnement des systèmes.

Les données utilisées ont été fournies principalement par les 16 stations indiquées sur la Fig. 1. A une exception près, ces stations utilisent un appareil d'enregistrement normalisé, l'enregistreur de bruit radioélectrique du type ARN-2, et elles ont été exploitées par plusieurs organisations dans le cadre d'un programme de coopération internationale [URSI, 1962] (voir l'Avis 174 (Varsovie, 1956)). Pour cette analyse, on a utilisé les données recueillies par ces stations entre 1957 et 1961 [Crichlow et autres, 1959-1962].

L'analyse a été faite au moyen d'un ordinateur, suivant une méthode selon laquelle chaque station devait fournir des données pour un certain nombre de fréquences réparties dans la quasi-totalité de la gamme couverte par les prévisions. Il n'était donc pas possible d'inclure des données provenant d'autres sources pour lesquelles la gamme de fréquences était limitée ou pour lesquelles on ignorait les valeurs de la puissance de bruit. Néanmoins, comme il est souhaitable que les prévisions tiennent compte en définitive du plus grand nombre possible de données disponibles, des comparaisons ont été faites entre les nouvelles prévisions et des données provenant de sources non comprises dans l'analyse [Clarke, 1962; Lichter et Terina, 1960; Science Council of Japan, 1960]. Quelques modifications ont été apportées. Les prévisions doivent être examinées et modifiées compte tenu des données supplémentaires qui sont maintenant disponibles.

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

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 le tableau des variations saisonnières du bruit valable pour les régions à climat tempéré ne l'était pas obligatoirement à des latitudes plus basses.

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

La principale grandeur présentée est la valeur horaire médiane de la puissance moyenne de bruit pour chaque tranche et les variations de cette grandeur mettent en évidence des variations systématiques du bruit, diurnes et saisonnières. Les variations des valeurs horaires à l'intérieur de chaque tranche ont été analysées statistiquement.

Pour faciliter l'utilisation des données relatives au bruit figurant dans le présent Rapport, le Secrétariat du CCIR tient à disposition un programme d'ordinateur (conformément à la Résolution 63) qui fournit une représentation numérique de ces données. Celle-ci est fondée sur la représentation numérique du bruit atmosphérique à 1 MHz [Zacharisen et Jones, 1970]. Les cartes correspondant à chaque heure de chaque mois sont établies en fonction du temps universel en appliquant l'analyse de Fourier indépendamment des fonctions périodiques qui représentent les variations longitudinales et diurnes des données initiales. Les variations en fonction de la fréquence et les paramètres de variabilité sont évalués au moyen des représentations de Lucas et Harper [1965].

### 3. Définition des paramètres utilisés

On convient généralement qu'aucun paramètre du bruit ne saurait à lui seul constituer un critère de détermination satisfaisant du taux de brouillage affectant tous les types de services radioélectriques. Il est néanmoins souhaitable d'adopter un paramètre qui puisse être universellement utilisé pour comparer les données relatives aux bruits produits par des sources différentes et dont il soit possible de déduire d'autres paramètres. La puissance moyenne de bruit semble être, en général, le paramètre le plus utile et le plus commode à cette fin et c'est sur lui que sont basées les prévisions.

Il est commode d'exprimer la puissance de bruit reçue en provenance de sources extérieures à l'antenne au moyen 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 d'un bruit externe.

Les équations (1) illustrent deux méthodes possibles pour spécifier la puissance de bruit, en utilisant, soit le facteur de bruit équivalent, soit la température d'antenne équivalente. La valeur de  $T_0$  a été prise égale à 288 K, de telle sorte que la quantité  $10 \log kT_0$  sera égale à 204 dB au-dessous de 1 joule.

La puissance de bruit due à toutes les sources pouvant être supposée proportionnelle à la largeur de bande, comme c'est le cas pour le niveau de puissance de référence,  $f_a$  et  $T_a$  sont indépendants de la largeur de la bande.

Dans le présent Rapport, le facteur de bruit d'antenne,  $F_a$ , exprimé en dB, s'applique à une antenne verticale courte sur un terrain parfaitement conducteur. Le Rapport 670 et les références s'y rapportant indiquent la façon d'obtenir le facteur de bruit d'antenne approprié  $F_a$  pour d'autres types d'antennes, à partir des données fournies dans le présent Rapport. Il existe une relation simple entre ce paramètre et la valeur quadratique moyenne du champ du bruit le long de l'antenne (qui fournit une troisième manière de spécifier le niveau de bruit); cette relation est la suivante:

$$E_n = F_a - 65,5 + 20 \log f_{\text{MHz}} \quad (2)$$

où:

$E_n$ : moyenne quadratique du champ de bruit (en dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ )) pour une largeur de bande de 1 kHz,

$F_a$ : facteur de bruit pour la fréquence  $f$  considérée,

$f_{\text{MHz}}$ : fréquence.

La valeur du champ pour une largeur de bande  $b$  (Hz) différente de 1 kHz s'obtient en ajoutant à  $E_n$  la quantité  $(10 \log b - 30)$ . Par exemple, étant donné que l'Avis 339 indique le rapport signal/densité de bruit requis, la largeur de bande appropriée est de 1 Hz. La Fig. 29 représente une abaque à utiliser pour la solution de l'équation (2); elle permet d'obtenir  $E_n$  à partir de  $F_a$ . Il convient de noter que  $E_n$  est la composante verticale du champ à l'emplacement de l'antenne. La structure des ondes incidentes peut être complexe et il n'est pas possible de la déduire des résultats de mesure obtenus avec une antenne verticale unique.

Le bruit atmosphérique radioélectrique 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  $\pm 2$  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 donne, sur huit fréquences différentes, les valeurs de la puissance moyenne de bruit pendant quinze minutes 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.

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 du jour, de la saison, de la fréquence et de l'emplacement géographique. Il existe également d'autres variations dont il faut tenir compte au point de vue statistique. 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 valeur médiane horaire à l'intérieur d'une tranche de temps (la médiane pour la tranche de temps) est appelée  $F_{am}$ . Les variations de ces valeurs horaires dans la tranche considérée peuvent être représentées par les valeurs dépassées pendant 10% et 90% du temps, exprimées par les écarts  $D_u$  et  $D_l$  par rapport à la médiane pour la tranche considérée. La répartition de l'amplitude des écarts  $D$  au-dessus de la valeur médiane, tracée sur un graphique de probabilité normale (niveaux en dB), correspond assez exactement à une ligne droite passant par la valeur médiane et par le décile supérieur; pour représenter les valeurs au-dessous de la médiane, on peut utiliser une ligne semblable passant par la valeur médiane et par 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 du cycle d'activité solaire. Certaines mesures déjà anciennes [Austin, 1932] faites en ondes myriamétriques ont effectivement mis en évidence une telle corrélation. Bien que les données utilisées pour la présente révision n'aient été enregistrées que durant une période de forte activité solaire, l'examen de certaines données recueillies pendant une période plus longue n'a pas révélé de variations systématiques notables du bruit en fonction de l'activité solaire. Toutefois, on n'a pas encore procédé à un examen approfondi des données à ce point de vue. L'influence de l'activité solaire a toutes les chances de se faire sentir aux fréquences élevées, mais l'apparition de bruit galactique pendant des périodes où l'ionosphère ne favorise pas la propagation du bruit atmosphérique tend à masquer ces variations.

Nous avons considéré jusqu'ici la puissance moyenne, représentée par  $F_a$ . C'est un paramètre fort utile pour déterminer le rapport signal/bruit requis pour de nombreux types de circuits de radiocommunication; toutefois, pour certains systèmes, d'autres paramètres font apparaître une meilleure corrélation avec le taux d'erreur sur les caractères ou le nombre d'erreurs dans les messages. Par exemple, pour déterminer la fiabilité d'une liaison par radiotéléimprimeur, il y a intérêt à connaître la répartition de probabilité des amplitudes (*RPA*) du bruit. Cette fonction indique le pourcentage de temps (durée d'occupation) pendant lequel un niveau quelconque est dépassé; le plus souvent, c'est l'enveloppe des bruits que l'on spécifie de cette manière. La *RPA* dépend des caractéristiques à court terme du bruit et ne saurait donc être déduite des seules valeurs horaires de  $F_a$ .

Dans plusieurs pays, on a mesuré un grand nombre de *RPA* et on a obtenu des résultats assez concordants [URSI, 1962; Clarke, 1962; Science Council of Japan, 1960]. Pour présenter ces données sous une forme utilisable pour l'exploitation, il est commode de construire une famille de courbes idéales et d'en choisir une pour représenter une *RPA* pratique ayant une précision suffisante. C'est ce qui a été fait en utilisant un système de coordonnées dans lequel une répartition de Rayleigh (représentant l'enveloppe d'un bruit du type thermique) est représentée par une droite ayant une pente de  $-0,5$ . 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 raccordées par un arc de cercle. La construction de ces courbes fait intervenir des grandeurs liées à la valeur quadratique moyenne, à la valeur moyenne et à la valeur logarithmique moyenne de la répartition, c'est-à-dire aux paramètres enregistrés dans le cadre des mesures de bruit régulièrement effectuées [Crichlow et autres, 1960a et 1960b]. Dans la pratique, la tension moyenne et la tension logarithmique moyenne étant, comme on l'a constaté, en corrélation étroite, le rapport de la tension efficace à la tension moyenne  $V_d$  (dB) suffit pour caractériser la courbe que l'on peut utiliser pour représenter la répartition [Spaulding et autres, 1962]. Certaines de ces courbes sont reproduites dans la Fig. 27, où l'on a représenté la différence ( $\Delta$ ) entre l'amplitude instantanée de l'enveloppe ( $A$ ) pour une probabilité quelconque et la valeur efficace de  $A$  ( $A_{eff}$ ) pour un certain nombre de valeurs de  $V_d$ , toutes ces quantités étant exprimées en décibels. On peut déduire par interpolation les données correspondant aux valeurs intermédiaires de  $V_d$ . Il est à noter que, si c'est la valeur efficace de la tension de bruit elle-même que l'on désire obtenir, celle-ci est inférieure de 3 dB à la valeur efficace de la tension de l'enveloppe. Les courbes peuvent être utilisées dans une vaste gamme de largeurs de bande, la variation de la largeur de bande ayant pour effet de modifier la valeur de  $V_d$  et, partant, la *RPA*.

On a également évalué les incertitudes qui entachent les courbes de *RPA* ainsi tracées. Celles-ci sont exprimées en écart type  $\sigma_\Delta$  de la différence  $\Delta$ , en fonction de la probabilité et de  $V_d$  (voir le § 5 et la Fig. 28).

#### 4. Méthodes utilisées pour établir les prévisions

Les valeurs de  $F_{am}$  fournies par le réseau de stations mentionné précédemment ont été ajustées afin de supprimer, dans la mesure du possible, les effets dus aux parasites industriels et aux signaux brouilleurs. Les valeurs ainsi obtenues étaient considérées comme représentant le bruit atmosphérique réel. Les valeurs pour chaque fréquence et chaque tranche de temps ont été comparées avec les valeurs de prévision établies conformément au Rapport 65 (Los Angeles, 1959) et on en a déduit quelles corrections étaient nécessaires. Celles-ci ont été traitées par ordinateur, dans le but de modifier les courbes de fréquence et les cartes mondiales figurant dans le Rapport 65 (Los Angeles, 1959).

On a également eu recours à un ordinateur pour obtenir la meilleure estimation possible des écarts  $D_u$  et  $D_l$  des déciles de  $F_a$  par rapport à la valeur médiane  $F_{am}$  pour chaque tranche de temps. On a obtenu de même, pour chaque tranche de temps, la valeur médiane  $V_{dm}$  de l'écart de tension  $V_d$ .

Pour obtenir une valeur des écarts du niveau de bruit par rapport aux valeurs estimées pour chaque tranche de temps, on a comparé toutes les valeurs mesurées avec les nouvelles valeurs estimées. A l'aide d'un ordinateur, on a pu obtenir les écarts types de  $F_{am}$ ,  $D_u$  et  $D_l$  en fonction de la fréquence. Les incertitudes qui entachent les *RPA* estimées ont été exprimées en fonction de  $\sigma_\Delta$ , compte tenu des variations de  $V_d$ . Les résultats ont été établis pour diverses valeurs de  $V_d$  en fonction du pourcentage de temps d'occupation.

#### 5. Données de bruit ou prévisions du bruit

On trouvera dans les Fig. 2 à 25 des cartes mondiales indiquant les valeurs médianes estimées du bruit atmosphérique radioélectrique ( $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$ ) à la fréquence de 1 MHz, pour chaque tranche de temps (heure locale). A la différence du Rapport précédent où l'on n'a représenté que deux familles de courbes de fréquence, l'une indiquant les conditions de propagation de jour et l'autre les conditions de propagation de nuit, le présent Rapport donne des courbes de fréquence pour chaque tranche de temps. Cette méthode est plus souple et elle permet d'adopter une représentation plus appropriée dans laquelle on juxtapose les diagrammes de degré de bruit pour une tranche de temps et une saison données et les courbes de fréquence correspondantes.

Des niveaux de bruit galactique extrapolés jusqu'à la fréquence 1 MHz d'après les observations de Cottony et Jöhler [1952] et vérifiés au moyen d'une antenne verticale sont indiqués sur les courbes. Compte tenu d'une variation dans le temps de  $\pm 2$  dB, l'effet d'écran ionosphérique étant négligé, ces niveaux constituent la limite supérieure du bruit galactique mais, dans chaque cas particulier, il convient de calculer le bruit reçu en considérant les fréquences critiques et les propriétés de directivité de l'antenne.

En de nombreux emplacements, 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 où la réception est exempte de fortes perturbations. Les nombres représentés sur cette courbe correspondent aux valeurs minimales de bruit artificiel mesurées en des endroits choisis de façon à obtenir le bruit artificiel minimal et l'on trouvera rarement des emplacements où ce bruit aurait des niveaux inférieurs. Le Rapport 258 indique les niveaux de bruit artificiel, en termes de  $F_a$ , ainsi que leurs variations pour diverses catégories d'environnements (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 supplémentaires concernant le bruit artificiel sont donnés sous forme résumée par Hagn [1981].

On remarquera que l'on a indiqué des niveaux de bruit pour 1 MHz inférieurs aux niveaux prévus du bruit artificiel et du bruit galactique. Ces valeurs ne devraient être utilisées qu'avec prudence, car elles ne représentent que des évaluations assez grossières du bruit atmosphérique qui serait enregistré en l'absence d'autres bruits. Leur principale utilité est de servir de niveaux de référence pour les zones à faible niveau de bruit; on a évalué la valeur du bruit, pour 1 MHz, à partir des données correspondant aux autres fréquences sur la courbe de bruit.

On a également indiqué sur le même jeu de courbes les valeurs estimées de  $D_u$ ,  $D_l$ ,  $V_d$ ,  $\sigma_{F_{am}}$ ,  $\sigma_{D_u}$  et  $\sigma_{D_l}$ . Toutes les valeurs relatives à une même tranche de temps se trouvent donc d'un seul coup. On utilisera en général  $D_u$  pour évaluer la puissance minimale requise du signal, mais on peut avoir besoin de  $D_l$  pour déterminer si le bruit interne d'un système de réception est négligeable dans les conditions où le bruit externe est minimal.

Les valeurs de  $\sigma_{F_{am}}$  ont été obtenues en comparant les résultats d'observations et les prévisions faites pour les mêmes emplacements; ces valeurs sont donc entachées d'incertitudes comme, par exemple, celles qui sont dues aux variations imprévisibles d'une année à l'autre et aux erreurs découlant du fait qu'il est nécessaire de présenter un grand nombre de données sous une forme récapitulative et homogène. On peut s'attendre à des valeurs plus élevées aux emplacements où l'on n'a pas effectué de mesures car l'interpolation géographique a pour effet d'augmenter le facteur d'incertitude, mais il n'est pas possible d'évaluer numériquement cet effet.

On constatera que les courbes de  $\sigma_{F_{am}}$  ne vont que jusqu'à 10 MHz. Sur les fréquences plus élevées, le bruit prédominant capté en de nombreuses stations était souvent d'origine galactique, et l'on a estimé qu'il n'était pas possible de faire des estimations de la variabilité du bruit atmosphérique seulement.

On a tracé des courbes distinctes pour  $D_u$  et pour  $\sigma_{D_u}$  à partir de données recueillies dans des stations situées dans les zones tempérées et tropicales, telles que les définit le Règlement des radiocommunications (N<sup>os</sup> 406 à 411) (Genève, 1979). Il est apparu, cependant, que les variations du bruit ne suivaient pas de loi déterminée en fonction des zones ainsi définies; aussi, pour obtenir les courbes du présent Rapport, a-t-on combiné les données en provenance desdites zones. Les résultats de certains travaux entrepris en Inde laissent à penser qu'une certaine simplification de la présentation est peut-être possible. D'autres travaux montreront peut-être que la variabilité du bruit est un caractère qui tient à quelque fonction de son intensité plutôt qu'à une zone géographique; on doit cependant s'attendre à ce qu'elle soit moins accentuée au-dessus d'un océan qu'au voisinage des principaux centres orageux du monde. Les courbes devraient donc être utilisées avec une certaine prudence, notamment pour les périodes comprises entre 8 et 16 heures car on sait qu'à ce moment là, les faibles niveaux de bruit relevés dans la gamme des ondes hectométriques étaient, dans la plupart des stations, influencés par la présence de bruit artificiel. Dans l'étude de cette variabilité, on n'a fait aucune correction pour réduire l'effet du bruit artificiel, contrairement à ce que l'on a fait dans le cas de  $F_{am}$ .

Les figures sont utilisées de la manière suivante. La valeur de  $F_{am}$  pour 1 MHz est obtenue directement sur les cartes de bruit correspondant à la tranche de temps (saison et heure) considérée. Si l'on prend cette valeur pour spécifier le degré de bruit, on obtient la valeur de  $F_{am}$  pour la fréquence voulue d'après les courbes de fréquence.  $\sigma_{F_{am}}$ ,  $D_u$ , et  $\sigma_{D_u}$  sont obtenus, pour la fréquence voulue, à partir des courbes de variabilité. Si l'on a besoin de connaître la valeur de  $D$  ( $= F_a - F_{am}$ ) ou celle de  $\sigma_D$  pour tout pourcentage du temps autre que 10%, on représente graphiquement  $D_u$  et  $\sigma_{D_u}$  sur un diagramme de probabilité normale (valeurs exprimées en dB) et on trace des lignes droites passant par 0 dB à 50% et par les valeurs à 10%, comme il est indiqué sur la Fig. 30. On fait de même, pour un pourcentage du temps supérieur à 50%, mais en prenant cette fois  $D_l$  et  $\sigma_{D_l}$ .

Les mêmes précautions sont à prendre pour l'utilisation des courbes  $V_{dm}$  que pour celle des courbes  $D_u$  et  $\sigma_{D_u}$ . Les valeurs de  $V_{dm}$  représentées graphiquement correspondent à une largeur de bande de 200 Hz. Or  $V_d$ , contrairement à  $F_a$ ,  $D_u$ , et  $D_l$ , n'est pas indépendant de la fréquence, aussi a-t-on mis au point une méthode qui permet, à partir d'une valeur donnée de  $V_d$  mesurée dans une certaine largeur de bande, de faire la conversion pour obtenir la valeur qui aurait été mesurée dans une autre largeur de bande [Spaulding et autres, 1962]. A cet effet, on peut se servir des courbes de la Fig. 26, dans laquelle  $V_{dn}$  et  $V_{dw}$  sont respectivement les valeurs de  $V_d$  pour la bande la plus étroite et pour la bande la plus large. On lit les valeurs de  $V_{dn}$  et de  $V_{dw}$  à l'intersection des lignes définies par le rapport  $b_w/b_n$  des largeurs de bande et la valeur connue de  $V_d$ . Les résultats indiqués dans la Fig. 26 sont fondés sur des hypothèses correspondant au cas idéal de réponse impulsionnelle du filtre. Des mesures ont indiqué que la Fig. 26 donne la conversion exacte de largeur de bande de  $V_d$  seulement pour des rapports de largeur de bande de l'ordre de 20 ou moins et elles prévoient généralement des valeurs trop élevées de  $V_d$  pour des rapports de largeurs de bande plus grands. Une certaine prudence est donc à conseiller lorsqu'on utilise la Fig. 26 pour de grands rapports de largeurs de bande.

Des courbes de *RPA* correspondant à diverses valeurs de  $V_d$  sont données dans la Fig. 27, dans laquelle on a pris comme référence la valeur efficace de la tension d'enveloppe  $A_{eff}$ . Les valeurs mesurées de  $V_d$  varient autour des valeurs médianes prévues. Ces variations se traduisent par des incertitudes sur la forme exacte de la courbe de *RPA*, qui sont exprimées sur la Fig. 28 par l'écart type  $\sigma_\Delta$  des différences d'amplitude  $\Delta$  correspondant à chaque pourcentage de temps. Comme chaque courbe de *RPA* est spécifiée en fonction de la valeur efficace  $A_{eff}$ , les incertitudes sur les  $\Delta$  voisins de  $A_{eff}$  sont faibles. On a des valeurs de  $\sigma_\Delta$  beaucoup plus grandes pour des pourcentages plus élevés ou plus faibles,  $\sigma_\Delta$  étant constant dans la portion «Rayleigh» de la courbe. On aura également des variations de la forme des courbes réelles de *RPA* pour la même valeur de  $V_d$ . On estime que le fait de négliger ces variations ne doit pas entraîner des erreurs appréciables. Jusqu'ici, la validité des courbes de *RPA* idéales considérées pour la représentation des répartitions effectives, et la manière dont ces courbes varient en fonction de  $V_d$  et de la largeur de bande, n'ont été vérifiées que par rapport à un nombre restreint de données; il faut donc procéder à de nouvelles vérifications. C'est pourquoi les courbes et les facteurs de conversion de la largeur de bande devraient être utilisés pour le moment avec prudence.

## 6. Application des données sur le bruit à l'évaluation de la qualité de fonctionnement d'un système radioélectrique

On ne prétend pas traiter ci-dessous la question en totalité, car le sujet implique évidemment dans sa généralité bien d'autres facteurs que le bruit atmosphérique radioélectrique. Il est bon, cependant, de donner un aperçu de la manière dont les données peuvent être appliquées à l'étude de la qualité de fonctionnement d'un système. Des exemples et des renseignements supplémentaires sont donnés par Spaulding [1981] et par les ouvrages cités en référence.

On peut exprimer la qualité de fonctionnement d'un système de réception complet par le facteur de bruit de fonctionnement  $f$  qui tient compte du bruit externe ainsi que du bruit engendré dans le système de réception lui-même. Les facteurs que l'on fait intervenir et les techniques d'évaluation sont décrits dans un article de Barsis et autres [1961]. Si l'on suppose que le récepteur est exempt de réponses parasites et que tous les éléments qui le précèdent sont à la température de référence  $T_0$ , on a :

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

où :

$f_c$  : facteur de bruit du circuit d'antenne (perte en puissance disponible);

$f_i$  : facteur de bruit de la ligne de transmission (perte en puissance disponible);

$f_r$  : facteur de 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 perte et le rapport signal/bruit correspondant ( $r$ ) à la sortie FI. du récepteur, étant donné que :

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

Si nous indiquons en majuscules les rapports, exprimés en décibels, des grandeurs correspondantes représentées par des lettres minuscules et si  $B = 10 \log b$ , la valeur de  $P_s$  en dBW devient :

$$P_s = R + F + B - 204 \quad \text{dBW} \quad (5)$$

Pour déterminer la valeur du facteur de bruit de fonctionnement  $F$  dans la formule (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 basses fréquences, on peut souvent utiliser un système de réception ayant des caractéristiques de bruit interne médiocres, car les valeurs de  $f_a$  seront élevées et détermineront celle de  $f$ . En général, la valeur de  $f_a$  diminue quand 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,  $f_i$  et/ou  $f_r$  peuvent prendre une importance égale à celle de  $f_a$  dans la détermination de  $f$ . On peut alors calculer les valeurs de  $f_i$  et  $f_r$  à l'aide des caractéristiques techniques de la ligne de transmission et du récepteur ou bien les mesurer directement. Lorsque les pertes dans l'antenne risquent d'être importantes, comme c'est le cas aux plus basses fréquences lorsque l'on utilise une antenne verticale courte située à proximité du sol, on doit employer des moyens indirects pour obtenir la valeur de  $f_c$ . On peut fréquemment évaluer ces pertes de manière suffisamment approchée à partir de mesures d'impédance et de la valeur calculée de la résistance de rayonnement [Crichlow et autres, 1955].

Une fois que les caractéristiques de bruit ont été établies, il faut en déduire le brouillage causé à un système donné. Jusqu'ici, on a exprimé la qualité d'un type de service donné en spécifiant le rapport entre le signal requis et un paramètre particulier du bruit, généralement la puissance de bruit moyenne. Pour de nombreux types de services, l'utilisation de la *RPA*, qui fait intervenir plus d'un paramètre et qui contient des informations sur le niveau aussi bien que sur le type de bruit, peut permettre d'obtenir des estimations plus réalistes sur le fonctionnement probable d'un système, une fois que les relations appropriées ont été établies. L'existence de données sur les variations prévisibles du niveau de bruit permet également de spécifier, sous une forme statistique plus précise, la probabilité pour qu'une qualité de fonctionnement requise soit obtenue.

Il est commode de définir statistiquement le fonctionnement d'un système par trois termes distincts, à savoir la qualité de service, la durée de service satisfaisant et la probabilité de service [Barsis et autres, 1961].

6.1 *La qualité de service* se rapporte au degré de fiabilité pour une courte période (qui est normalement d'une heure, mais qui peut varier de quelques minutes à plus d'une heure) pendant laquelle on peut considérer que les caractéristiques statistiques du rapport signal/bruit sont stationnaires. La qualité de service peut être exprimée, par exemple, par le pourcentage de messages exempts d'erreurs, par le degré d'intelligibilité obtenu ou par le pourcentage d'observateurs qui se sont déclarés satisfaits.

6.2 *La durée de service satisfaisant* se rapporte au pourcentage d'heures ou d'autres courtes périodes utilisées pour la définition de la qualité de service, pendant lequel on peut atteindre la qualité de service spécifiée ou une qualité meilleure. Cette période devrait englober toutes les variations prévisibles; elle peut s'étendre à un cycle solaire entier, à une année, à une saison ou à un mois donné, ou encore à certaines heures du jours comprises dans une période plus longue.

6.3 *La probabilité de service* est définie comme la probabilité pour que la qualité de service spécifiée, ou une qualité meilleure, soit atteinte pendant la durée de service satisfaisant spécifiée. La probabilité de service combine statistiquement les incertitudes attachées à de nombreux paramètres intervenant dans la prévision du fonctionnement d'un système.

Après avoir spécifié la qualité désirée de fonctionnement d'un système, il faut évaluer les divers facteurs qui affectent ce fonctionnement. Pour plus de clarté et pour simplifier, le fonctionnement sera évalué dans les deux exemples qui vont suivre en fonction des caractéristiques 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 extérieur à l'antenne et d'origine atmosphérique. On a choisi les saisons et les heures de manière que les valeurs du niveau de bruit soient au maximum. 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 bruit varie. Les calculs ont été effectués en utilisant la *RPA*, car ce genre de service est un de ceux pour lesquels les erreurs se prêtent à un calcul mathématique suffisamment précis lorsqu'on connaît les caractéristiques à court terme du bruit. Le second exemple fait intervenir la propagation ionosphérique; le signal aussi bien que le bruit varient donc en fonction du temps. Cet exemple reprend les valeurs recommandées par le CCIR (Avis 339) pour le rapport puissance du signal/puissance du bruit. Cette procédure est celle qu'il faudra suivre dans le cas d'un grand nombre de services, particulièrement de ceux qui font intervenir des facteurs subjectifs.

La détermination de la probabilité de service fait intervenir, non seulement les incertitudes liées aux paramètres du bruit, mais encore celles de toutes les valeurs entrant en jeu dans la méthode de prévision. Les plus importantes de celles-ci sont probablement liées à la prévision du niveau de signal reçu et du rapport signal/bruit requis. Les exemples suivants étant destinés à illustrer des méthodes d'utilisation des données relatives au bruit, les valeurs de  $\sigma$  pour ces autres paramètres ont été admises, et non calculées. Sans doute représentent-elles des ordres de grandeur raisonnables, mais il convient, dans la pratique, de ne les utiliser que faute d'une meilleure estimation. En général, on parvient à déterminer les valeurs à utiliser dans le cas d'un circuit donné en se servant des renseignements fournis par le CCIR dans d'autres publications.

#### 6.4 Exemple I

Déterminer les caractéristiques d'un système à manipulation par déplacement de fréquence, le point de réception se trouvant à Genève, Suisse, dans les conditions suivantes:

Fréquence:	50 kHz
Heures de réception:	2000-2400 heures
Saison:	été
Largeur de bande:	100 Hz
Propagation:	onde de sol (donnant à la réception un signal constant)
Qualité de service:	un taux d'erreur de 0,05% sur les caractères binaires (correspondant à un taux approximatif d'erreur de 1% sur les caractères de téléimprimeur dans un code arithmique à 5 moments) est admissible pendant une heure donnée [Watt et autres, 1958].

Il s'agit d'évaluer la probabilité pour que la puissance d'un signal reçu donné satisfasse à la qualité de service spécifiée, pendant un pourcentage d'heures quelconque.

La valeur prévisible de la puissance requise à la réception ( $P_e$ ) pour obtenir une certaine qualité de service pendant une heure, le facteur de bruit d'antenne étant  $F_a$ , 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 de puissance signal/bruit (dB) requis avant détection pour la largeur de bande donnée.

Lorsque l'antenne de réception est une tige verticale courte, le champ correspondant est donné par:

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

Montgomery [1954] a montré que la probabilité d'une erreur sur les caractères binaires dans un système à modulation de fréquence à bande étroite est égale à la moitié de la probabilité pour que l'enveloppe du bruit dépasse l'enveloppe de la porteuse à un instant quelconque. Il faut donc déterminer la *RPA* du bruit afin de déterminer la valeur requise du rapport signal/bruit. D'après la Fig. 19, la valeur de  $V_{dm}$  à la fréquence 50 kHz (en été et entre 2000 et 2400 h) est de 8,5 dB pour une largeur de bande de 200 Hz. Si l'on se sert de la Fig. 26 pour ramener les valeurs numériques à une largeur de bande de 100 Hz, on trouve que  $V_{dm} = 6,4$  dB. On peut tracer la courbe de *RPA* correspondant sur la Fig. 27 en joignant les extrémités des courbes  $V_{dm} = 6$  et  $V_{dm} = 8$  aux points d'intersection correspondants sur l'ordonnée et en faisant une interpolation entre les deux lignes pour le pourcentage voulu.

D'après le critère admis par Montgomery, la qualité de service requise (0,05% d'erreurs sur les caractères binaires) exige que l'enveloppe du bruit ne dépasse l'enveloppe de la porteuse que pendant 0,1% du temps; avec la *RPA* correspondant à  $V_{dm} = 6,4$  dB, l'enveloppe de la porteuse doit dépasser  $A_{eff}$  de 21 dB (d'après la Fig. 27). Le rapport puissance de la porteuse/puissance moyenne de bruit doit donc être égal lui aussi à 21 dB, et c'est cette valeur qu'il faut adopter pour  $R$  dans l'équation (6). Le degré d'incertitude sur cette valeur, dû aux variations de forme possibles de la *RPA*, n'est que de 1,4 dB (d'après la Fig. 28).

Il faut ensuite déduire  $F_a$  de la valeur médiane  $F_{am}$  et ajouter un écart  $D$  compatible avec le pourcentage des heures pendant lesquelles on doit obtenir un service satisfaisant. On tire de la Fig. 19, la valeur à 1 MHz (degré de bruit), soit 78 dB et la valeur de  $F_{am}$  pour 50 kHz est 135 dB, avec un écart type  $\sigma_{F_{am}}$  de 3,4 dB. Pour tenir compte des incertitudes qui affectent la valeur du niveau de bruit  $F_a$  pendant une heure donnée, il faut introduire la probabilité d'apparition d'un écart donné  $D = F_a - F_{am}$ . De la Fig. 19c, on déduit que  $D_u = 6,4$  dB, ce qui permet de porter les valeurs de  $D$  sur un diagramme de probabilité normale, comme sur la Fig. 30, dans l'hypothèse où la distribution des valeurs en dB au-dessus de la médiane est normale. De la même façon, la Fig. 19c donne la valeur de  $\sigma_{D_u}$  soit 1,9 dB, et on trace la courbe de  $\sigma_D$  sur la Fig. 30.

On évalue ensuite l'équation (6) en considérant le pourcentage de durée de service satisfaisant comme égal au complément à l'unité du pourcentage de temps pendant lequel  $D$  est dépassé, après quoi on représente graphiquement  $P_e$  sur la Fig. 31; si on le désire, on peut déduire la valeur correspondante de  $E_e$  de l'équation (7). D'après l'équation (6),  $P_e = D - 30$  et c'est là le procédé usuel de prévision de la puissance qui est requise pour donner la qualité de service spécifiée, compte tenu de la durée de service satisfaisant. Mais comme on n'a pas tenu compte des incertitudes de la prévision, il est probable que la moitié seulement des circuits considérés satisferont aux critères théoriques.

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

- $\sigma_P$ : erreur type sur la valeur estimée de la puissance du signal reçu; cette valeur doit être calculée à partir de diverses données, relatives notamment à la propagation; nous admettrons ici qu'elle est égale à 2 dB;
- $\sigma_R$ : incertitude sur le rapport signal/bruit requis, écart type supposé égal à 2 dB;
- $\sigma_\Delta$ : 1,4 dB (d'après la Fig. 28);
- $\sigma_{F_{am}}$ : 3,4 dB (d'après la Fig. 19);
- $\sigma_D$ : écart type de  $D$ , qui est en fonction du pourcentage de temps de fonctionnement requis (d'après la Fig. 30).

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

$$\sigma_T^2 = \sigma_P^2 + \sigma_R^2 + \sigma_\Delta^2 + \sigma_{F_{am}}^2 + \sigma_D^2 \quad (8)$$

Cette grandeur est, elle aussi, représentée graphiquement sur la Fig. 31. Elle permet d'estimer, ainsi qu'on va le voir, la probabilité de service pour que la durée de service satisfaisant indiquée soit obtenue.

Pour une valeur donnée de la puissance reçue  $P$ , la durée de service satisfaisant peut être déterminée en fonction de la probabilité de service par l'expression:

$$t = (P - P_e)/\sigma_T \quad (9)$$

où  $t$  est une fonction, dite «écart normalisé», de la probabilité de service. La Fig. 32 montre comment  $t$  varie en fonction de la probabilité de service.

Si l'on exige seulement une probabilité de 0,5 pour que soit obtenue une valeur donnée de la durée de service satisfaisant,  $t = 0$ ,  $P = P_e$  et les puissances requises sont données par la Fig. 31. Par exemple, une puissance de  $-20$  dBW donnerait une durée de service satisfaisant de 94,6%. Cette condition est représentée sur la Fig. 33 par le point correspondant à une probabilité de service de 0,5 sur la courbe  $P = -20$  dBW. Pour une durée de service satisfaisant plus élevée, par exemple 99%, il faut une valeur plus élevée de  $P_e$  ( $-16,5$  dBW, avec un écart type de 5,7 dB). Avec la même puissance de  $-20$  dBW, la valeur de  $t$  est alors de  $-0,61$ , ce qui conduit à une probabilité de service plus faible, soit 0,27. On peut ainsi tracer la courbe représentant la relation entre la durée de service satisfaisant et la probabilité de service pour  $P = -20$  dBW, et pour d'autres valeurs de la puissance, comme sur la Fig. 33.

Cette figure montre que si l'on prend  $P = -30$  dBW et si l'on désire obtenir une durée de service satisfaisant égale à 99%, il existe une probabilité de moins de 0,009 pour qu'un taux d'erreur de moins de 1% sur les caractères de téléimprimeur soit obtenu pendant 99% des heures de fonctionnement. Cependant, si  $P = -10$  dBW, la probabilité passerait à plus de 0,87. Avec  $P = 0$  dBW, la probabilité pour que la qualité de service requise ne soit pas atteinte pendant 99% des heures pourrait être inférieure à 0,002.

### 6.5 Exemple II

Soit à déterminer la qualité de fonctionnement d'un système téléphonique A3EJN à double bande latérale, la réception ayant lieu à Genève dans les conditions suivantes:

Fréquence:	5 MHz
Heures de réception:	2000-2400 heures
Saison:	été
Largeur de bande:	6 kHz
Propagation:	ionosphérique (donnant lieu à des évanouissements du signal)
Qualité de service:	tout juste commerciale pendant 95% du temps.

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, pendant un pourcentage d'heures quelconque.

L'équation (6) ne s'applique pas directement à ce cas, étant donné que le signal et le bruit varient tous deux dans le temps; il faut en tenir compte. La valeur de  $R$  utilisée dans l'équation (6) est établie pour une qualité de service donnée dans ces conditions de stabilité du signal. Etant donné que le signal varie dans le temps en raison d'évanouissements qui peuvent être représentés par une répartition de Rayleigh (Rapport 266), nous pouvons admettre que  $R_h$  est le rapport porteuse/bruit requis pour une qualité de service donnée pendant un certain pourcentage de l'heure.

On a constaté que les variations d'un jour à l'autre de la valeur médiane horaire du signal reçu exprimée en dB obéissent à une loi normale (Rapport 266) et peuvent, de ce fait, être décrites au moyen de la valeur médiane et de l'écart,  $D_s$ , de la valeur dépassée pendant 90% du temps par rapport à la médiane. Etant donné que les valeurs de  $F_a$  peuvent également être considérées comme obéissant approximativement à une loi normale, on pourra déterminer un facteur de protection  $C_u$  (dB) nécessaire pour assurer le rapport porteuse/bruit requis pendant 90% de la tranche de temps envisagée – à supposer qu'il n'existe pas de corrélation – en utilisant l'expression:

$$C_u^2 = D_u^2 + D_s^2 \quad (10)$$

En prenant  $C_u$  au point à 10% par rapport à 0 dB à la valeur médiane sur un diagramme dont les axes portant une graduation linéaire, on pourra obtenir la valeur de  $C$  pour n'importe quel autre pourcentage puisque cette grandeur suit une loi de distribution normale. Compte tenu des définitions données ci-dessus pour les valeurs de  $R_h$  et  $C$ , l'équivalent de l'équation (6) peut maintenant s'écrire de la manière suivante:

$$P_{me} = F_{am} + C + R_h + B - 204 \quad \text{dBW} \quad (11)$$

où  $P_{me}$  est la valeur médiane de la puissance du signal considérée comme nécessaire.

On tire de la Fig. 19 la valeur à 1 MHz (degré de bruit) pour Genève, soit 78, et la valeur de  $F_{am}$  à 5 MHz, soit 57 dB avec un écart type  $\sigma_{F_{am}}$  de 4,1 dB. On tire aussi de la Fig. 19 la valeur de  $D_u$  à 5 MHz, soit 4,9 dB, et l'écart type associé  $\sigma_{D_u}$ , soit 1,3 dB. En prenant respectivement pour  $D_s$  et  $\sigma_{D_s}$  les valeurs de 7 dB et 1,5 dB, qui correspondent assez bien à celles indiquées dans le Rapport 266, l'équation (10) donne  $C_u = 8,54$  dB. D'une manière analogue, on trouve que  $\sigma_{C_u} = 1,98$  dB. Les valeurs de  $C$  et de  $\sigma_c$  sont représentées graphiquement sur la Fig. 34.

L'Avis 339 donne, pour divers services, les valeurs recommandées du rapport signal/bruit, le niveau du signal étant supposé stable. La valeur requise du rapport «signal radioélectrique crête-à-crête sur bruit» dans une bande de fréquence de 6 kHz, en téléphonie A3EJN à double bande latérale, de qualité tout juste commerciale, est de 27 dB dans le cas d'un signal stable, et la valeur du rapport «porteuse sur bruit» dans les mêmes conditions est de 21 dB. Puisque nous sommes intéressés par le niveau de signal qui est dépassé pendant 95% du temps, dans le cas d'évanouissement de Rayleigh,  $R_h$  doit être supérieur de 11,3 dB à la valeur trouvée pour le signal stable, soit 32,3 dB.

On a évalué l'équation (11) en considérant le pourcentage de durée de service satisfaisant comme égal au complément à l'unité du pourcentage de temps pendant lequel  $C$  est dépassé après quoi on a représenté graphiquement  $P_{me}$  sur la Fig. 35. On peut déduire  $E_p$  de l'équation (7). Comme dans l'exemple I,  $P_e$  est la puissance prévue qui est requise pour donner la qualité de service spécifiée, compte tenu de la durée de service

satisfaisant. Il est également nécessaire, comme dans l'exemple 1, d'envisager plusieurs incertitudes dans les prévisions et l'incertitude totale  $\sigma_T$  s'en déduit, dans l'hypothèse où les erreurs sont sans corrélation, par la formule:

$$\sigma_T^2 = \sigma_P^2 + \sigma_R^2 + \sigma_{F_{am}}^2 + \sigma_C^2 \quad (12)$$

où:

$\sigma_P$ : écart type des valeurs estimées de la puissance du signal reçu, supposé égal à 5 dB,

$\sigma_R$ : incertitude sur le rapport signal/bruit requis, écart type supposé égal à 2 dB,

$\sigma_{F_{am}}$ : écart type de  $F_{am}$  au voisinage de sa valeur prévue, soit 4,1 dB (d'après la Fig. 19),

$\sigma_C$ : écart type de  $C$ , qui est une fonction du pourcentage de temps de fonctionnement requis (d'après la Fig. 34).

$\sigma_T$  a aussi été représenté graphiquement sur la Fig. 35.

Ici encore, on peut obtenir la Fig. 36 à partir de l'équation (9), de la Fig. 32 et des valeurs de  $\sigma_T$  d'après la Fig. 35.

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

Tous les renseignements sur les bruits, donnés dans le présent Rapport, y compris les exemples de la section précédente, se rapportent à une antenne de réception verticale de petites dimensions. Même si une telle antenne peut être utilisée en pratique aux basses fréquences, les radiocommunications à ondes décimétriques à grande distance utilisent normalement 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 de l'antenne accroîtra le caractère variable 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 de  $F_a$  était un peu supérieure (d'environ 4 dB en moyenne) à ce qu'elle était pour une antenne verticale courte pendant la même période. 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 étendue de conditions d'orage semble indiquer une tendance du bruit à provenir, de préférence, d'angles d'élévation peu élevés. 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. Au contraire, en Australie, les facteurs de bruit de plusieurs antennes orientées dans des directions différentes étaient inférieurs de quelques décibels à celui d'une antenne verticale courte et on en a conclu qu'un niveau de bruit important était capté sous une incidence élevée. Il apparaît donc qu'en règle générale, le gain en rapport signal/bruit est probablement sensiblement égal au gain pour le signal seul (lequel peut cependant être inférieur au gain optimal) et que, si l'on désire obtenir des chiffres plus précis, on doit tenir compte des foyers orageux et des fréquences critiques de l'ionosphère, en plus du diagramme de directivité de l'antenne. On a, cependant, encore besoin de davantage de données avant de pouvoir connaître de façon plus précise l'influence de ces paramètres, mais il apparaît que les différences seront généralement inférieures à 6 dB.

On possède encore moins de renseignements au sujet de l'influence de la polarisation des antennes, mais en première approximation, on peut estimer que les bruits à la réception sont comparables pour les deux polarisations, si la hauteur de l'antenne est grande par rapport à la longueur d'onde.

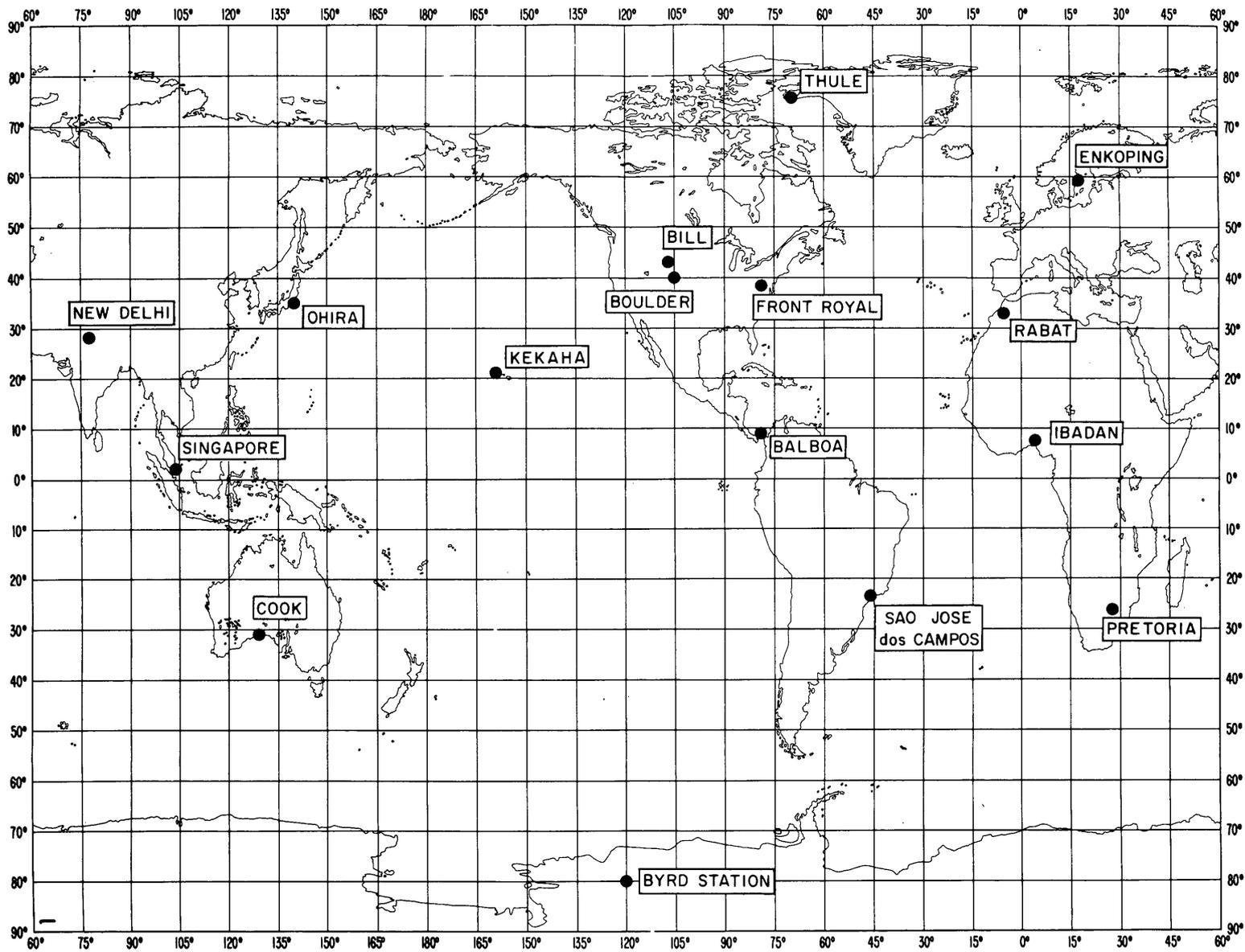


FIGURE 1 – Stations qui ont fourni des données de bruit radioélectrique

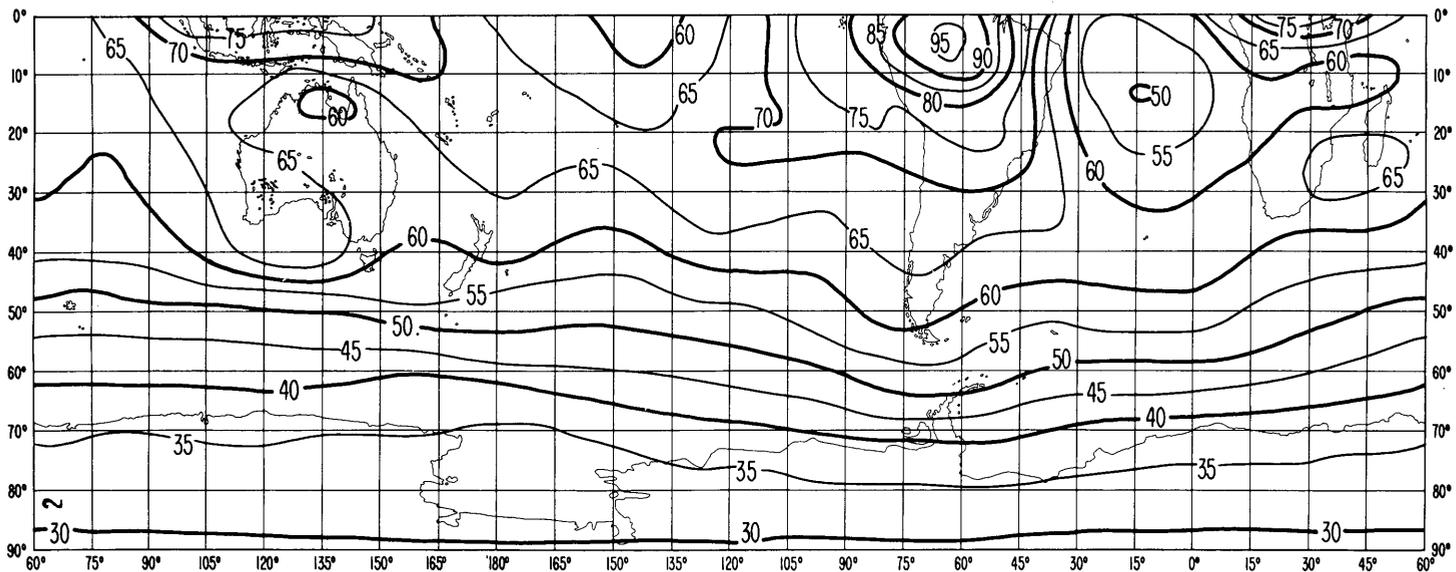
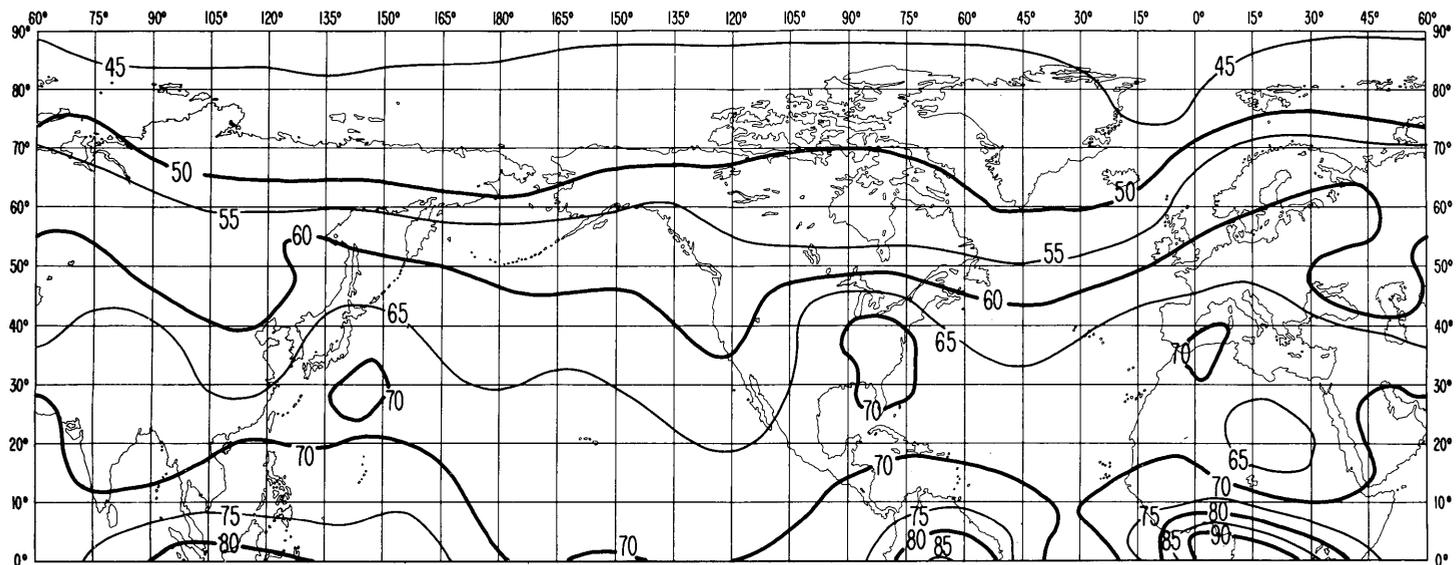


FIGURE 2a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Hiver; 0000-0400 h)

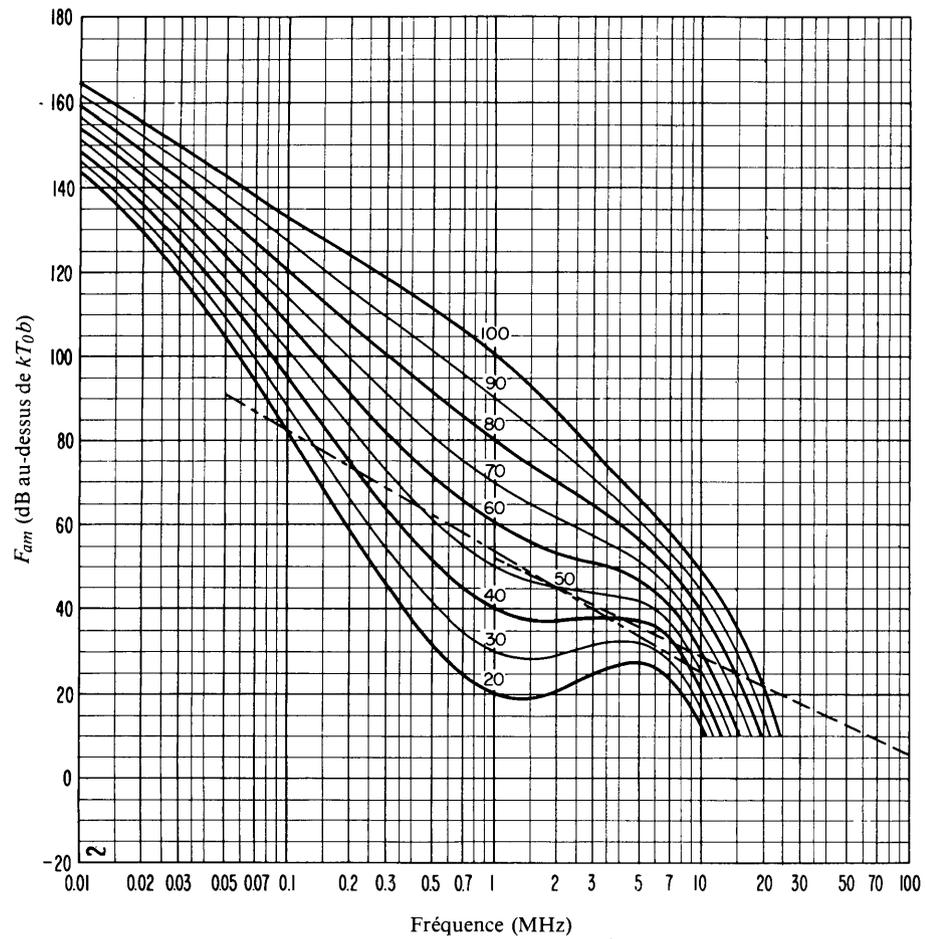


FIGURE 2b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hiver; 0000-0400 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- . . . - . Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

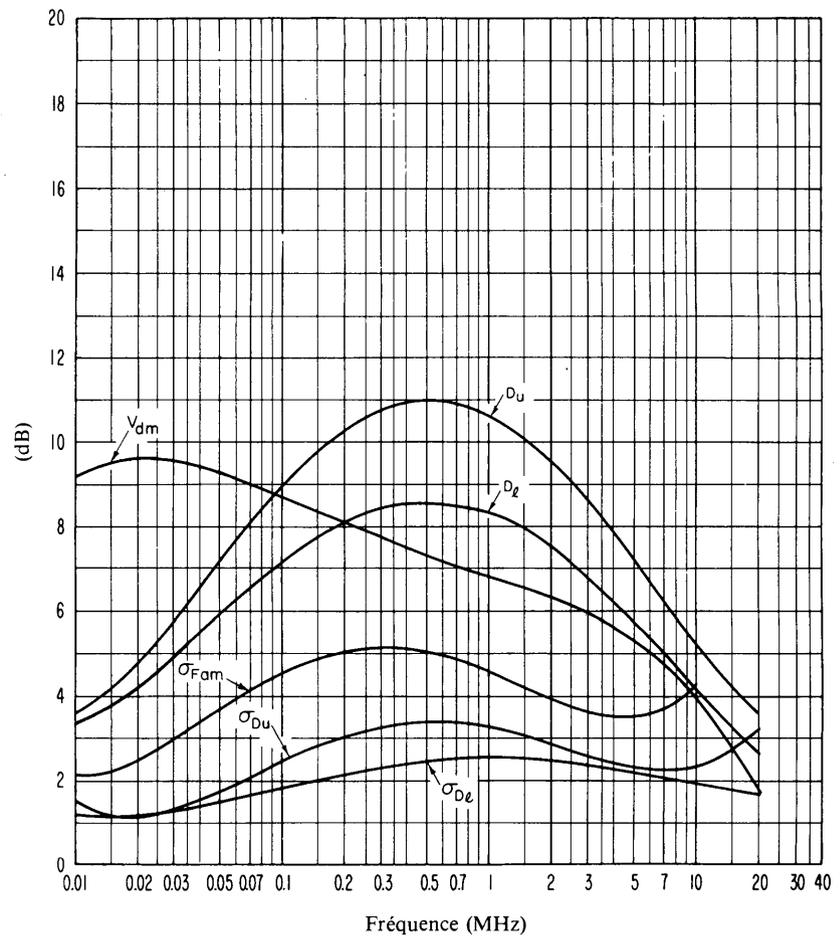


FIGURE 2c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hiver; 0000-0400 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

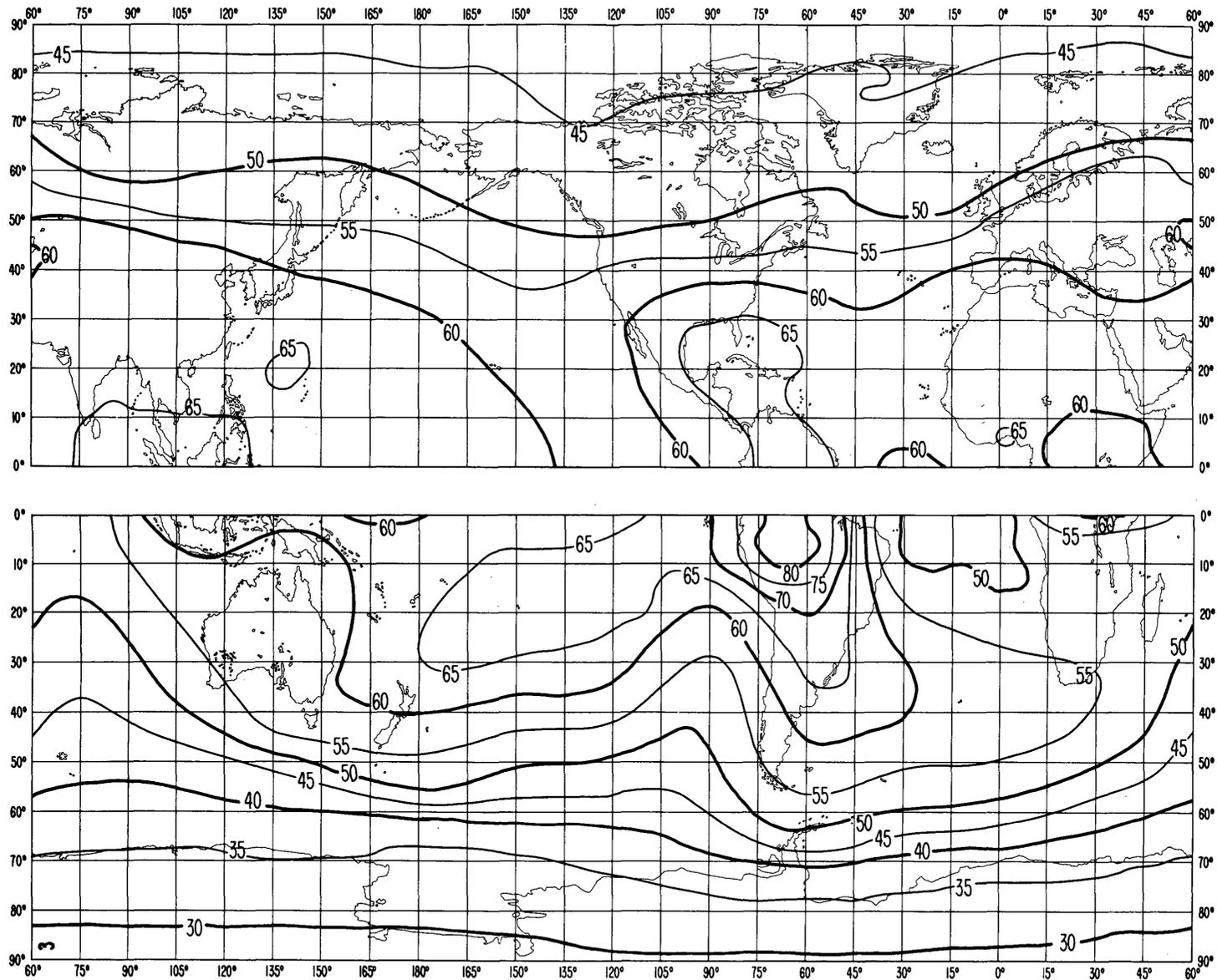


FIGURE 3a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Hiver; 0400-0800 h)

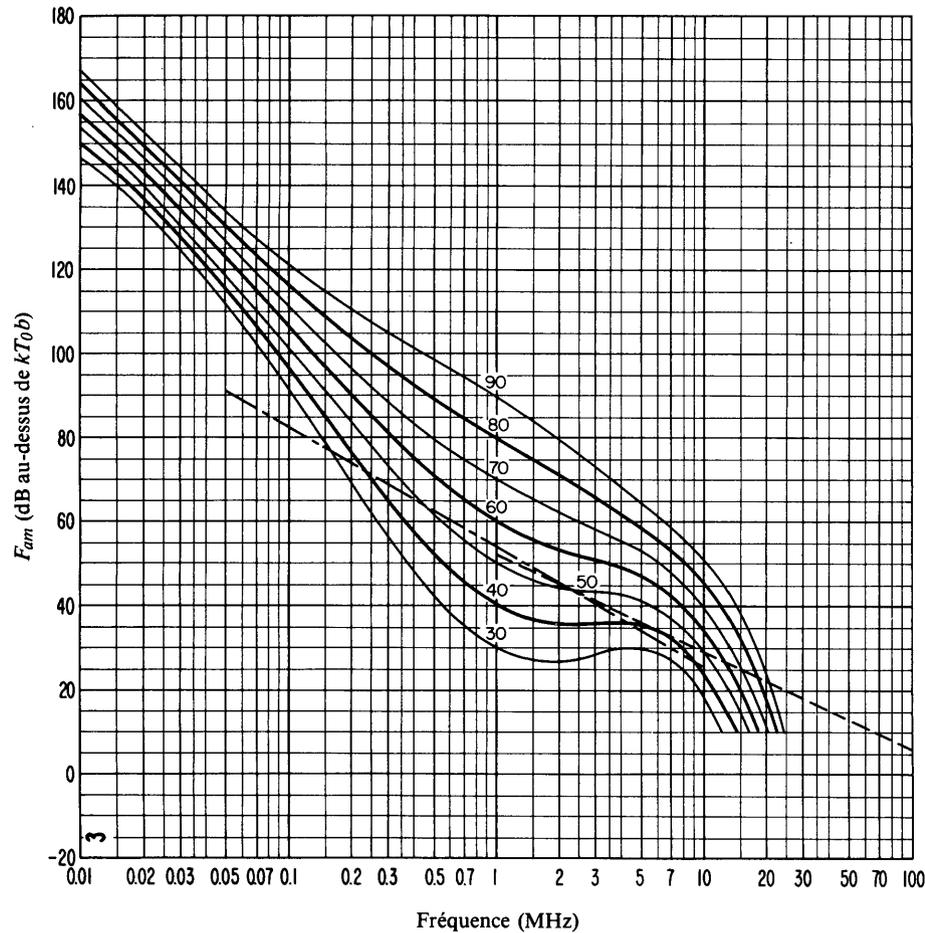


FIGURE 3b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hiver; 0400-0800 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- Valeurs attendues du bruit galactique

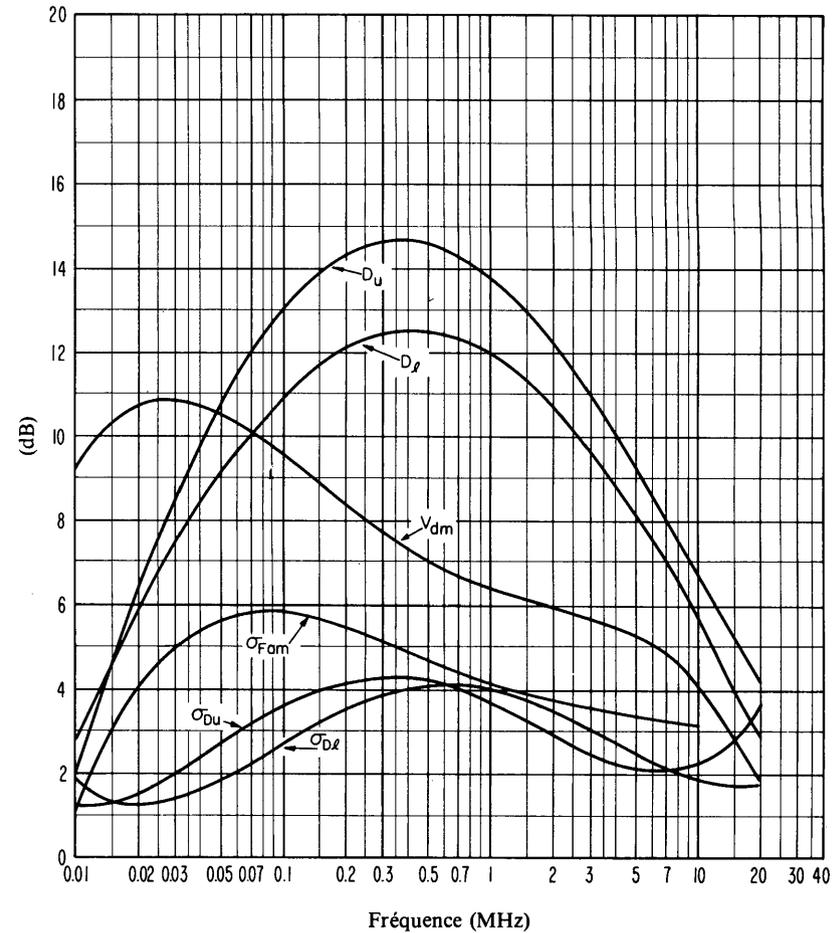


FIGURE 3c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hiver; 0400-0800 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

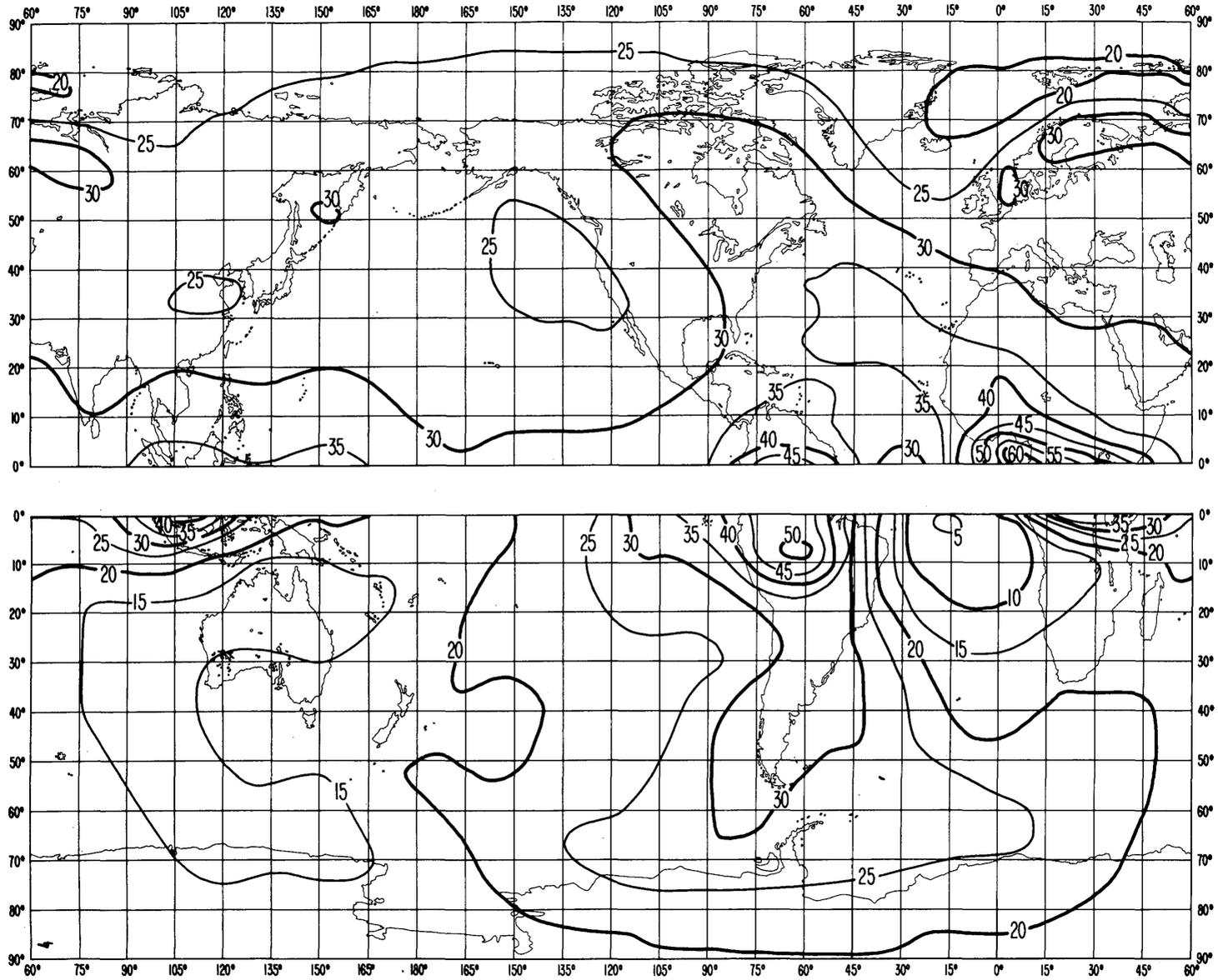


FIGURE 4a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Hiver; 0800-1200 h)

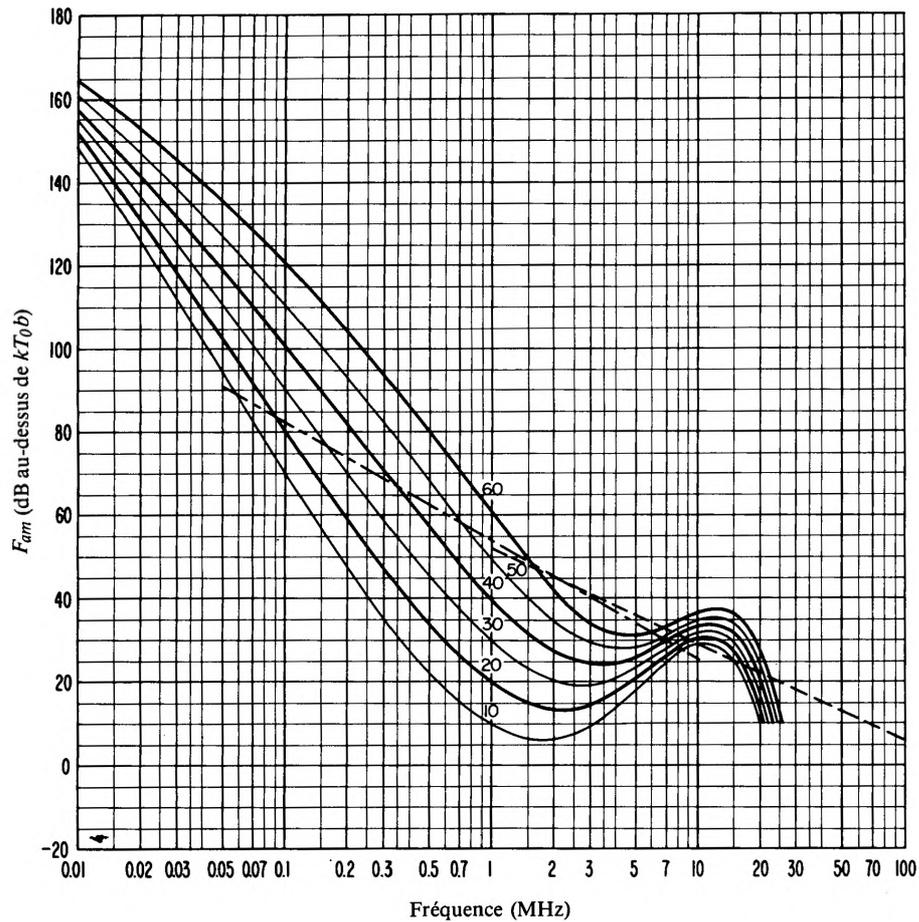


FIGURE 4b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hiver; 0800-1200 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- ..... Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- Valeurs attendues du bruit galactique

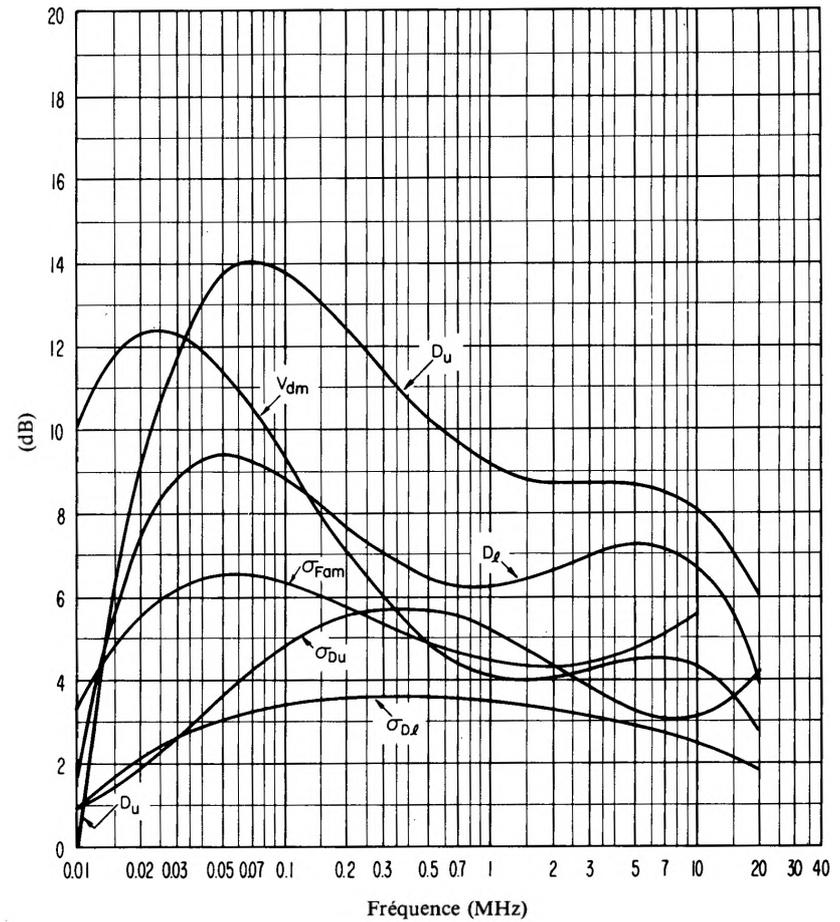


FIGURE 4c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hiver; 0800-1200 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

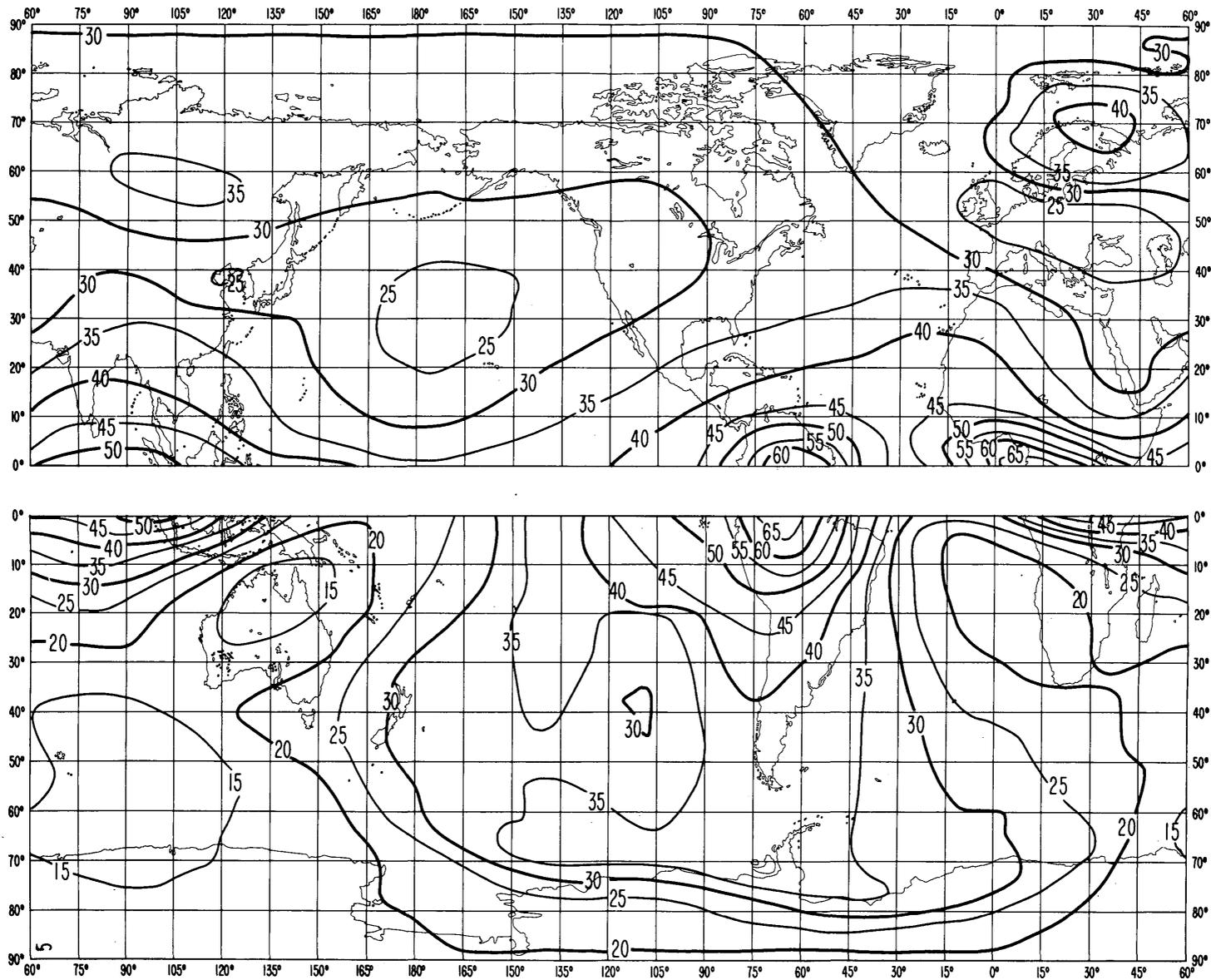


FIGURE 5a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ ,  
en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz  
(Hiver; 1200-1600 h)

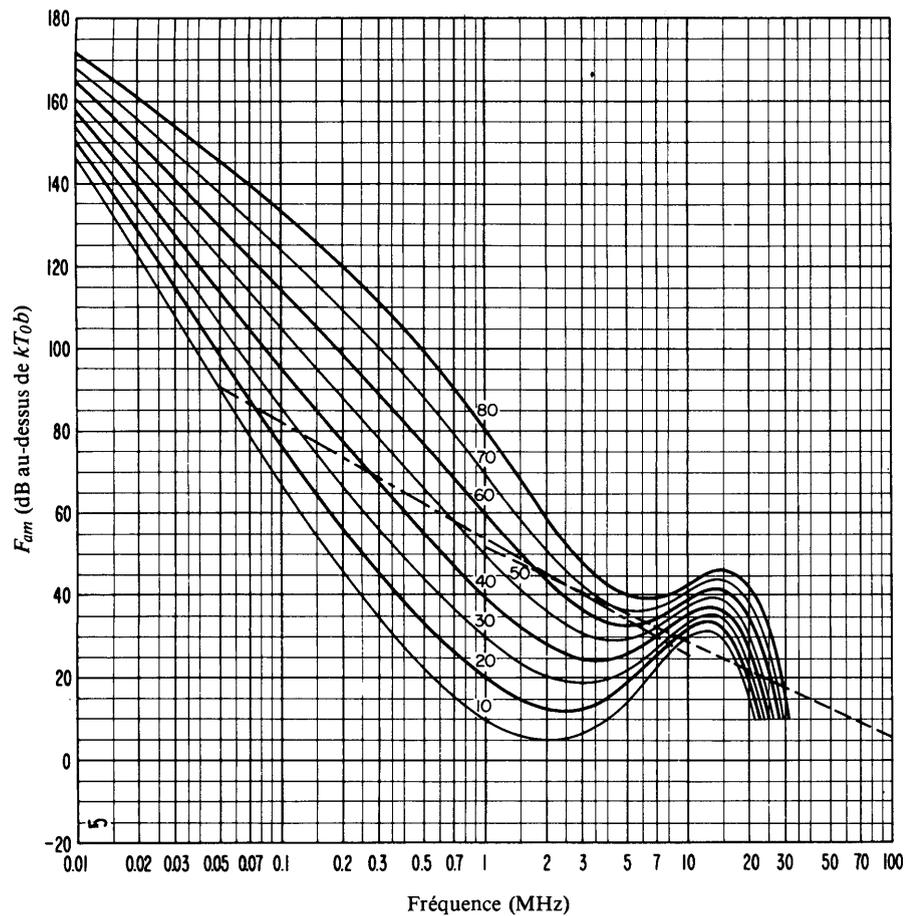


FIGURE 5b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hiver; 1200-1600 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

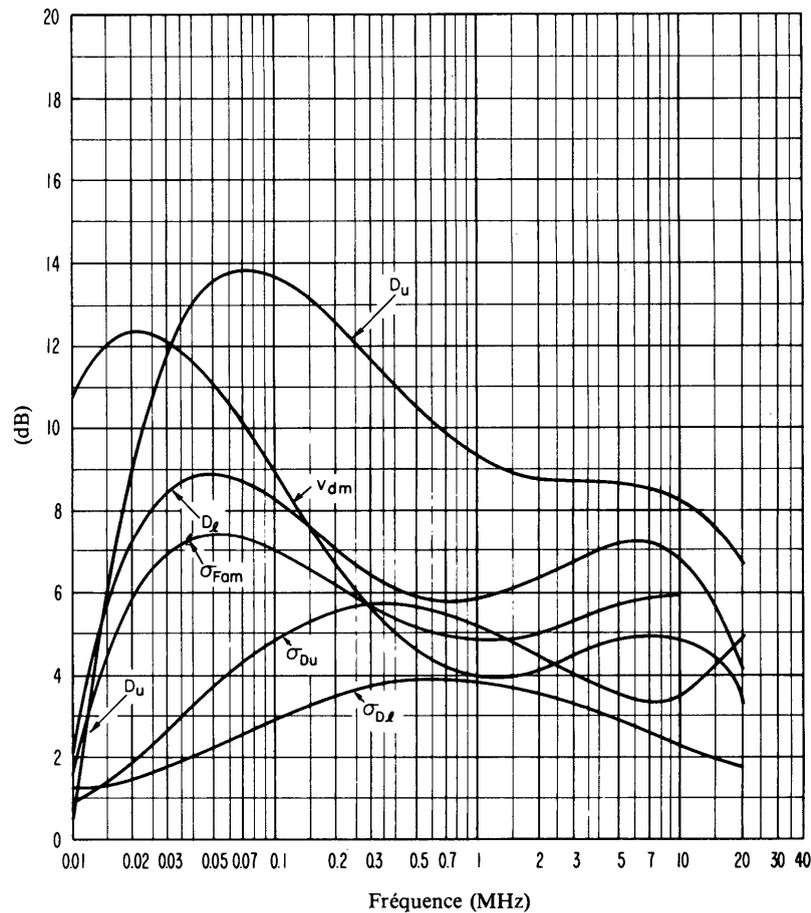


FIGURE 5c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hiver; 1200-1600 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

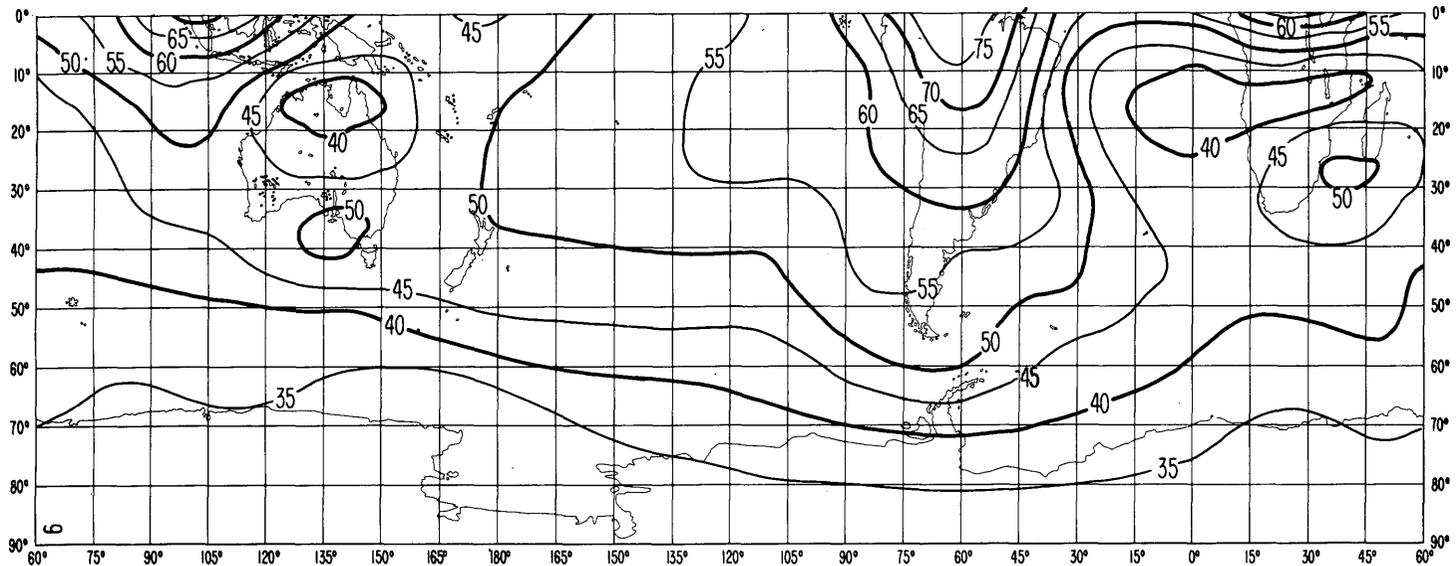
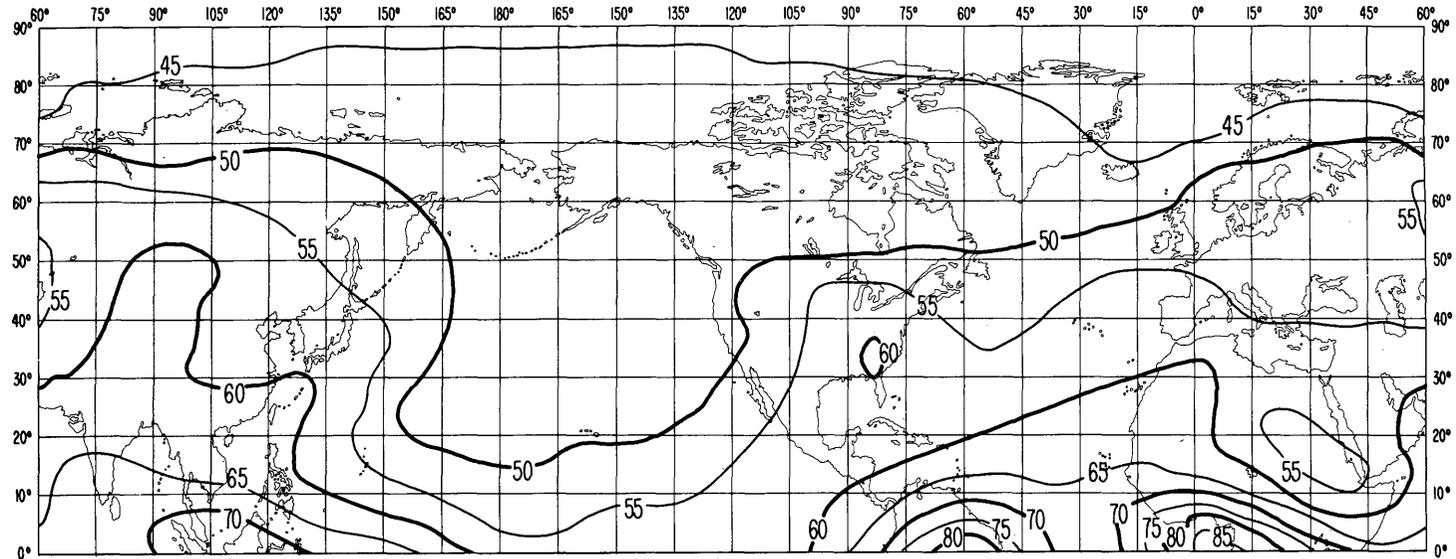


FIGURE 6a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Hiver; 1600-2000 h)

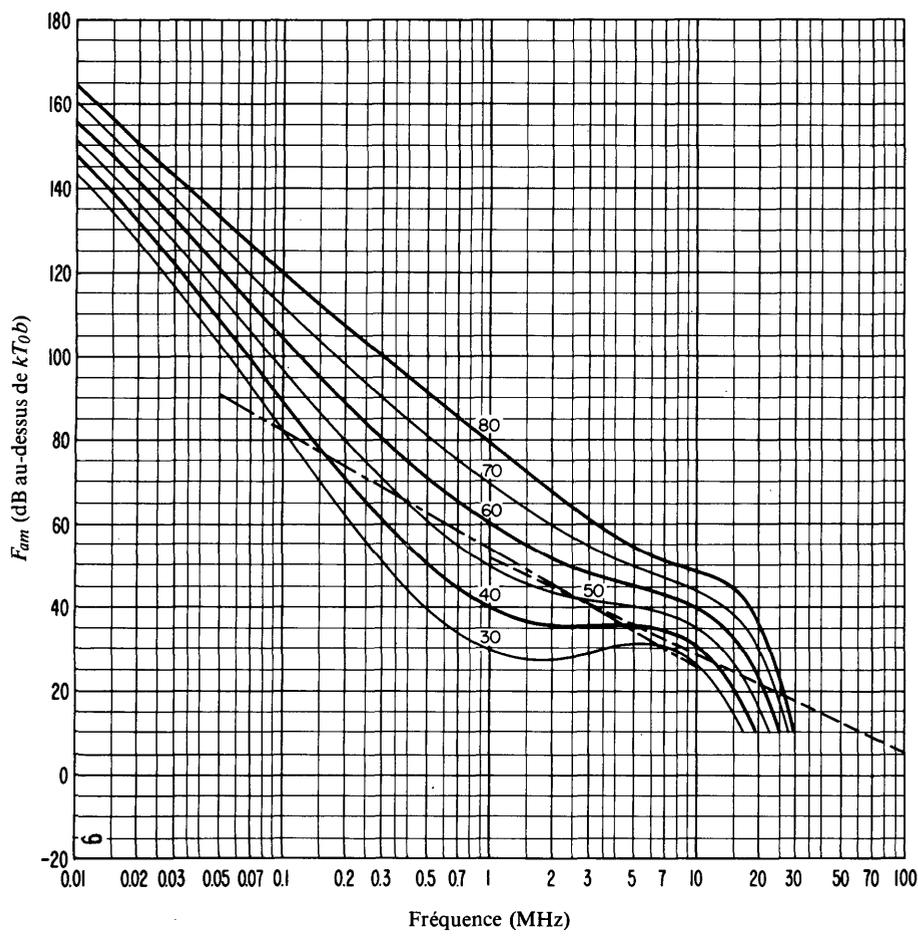


FIGURE 6b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Hiver; 1600-2000 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- · - · - Valeurs attendues du bruit galactique

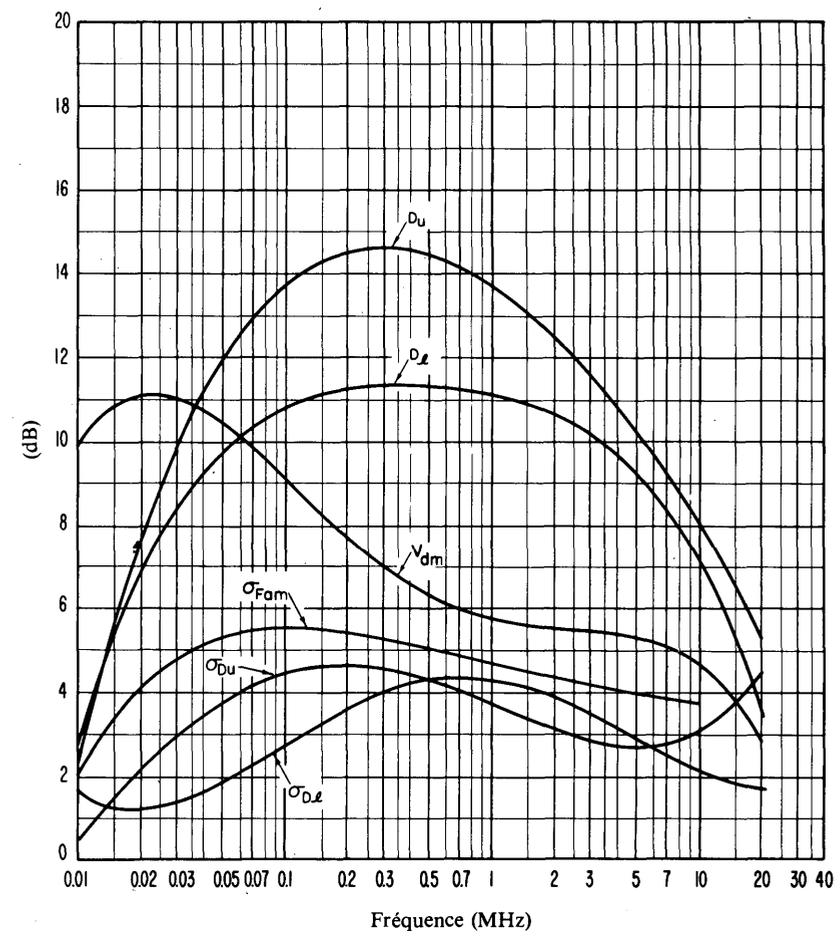


FIGURE 6c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Hiver; 1600-2000 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

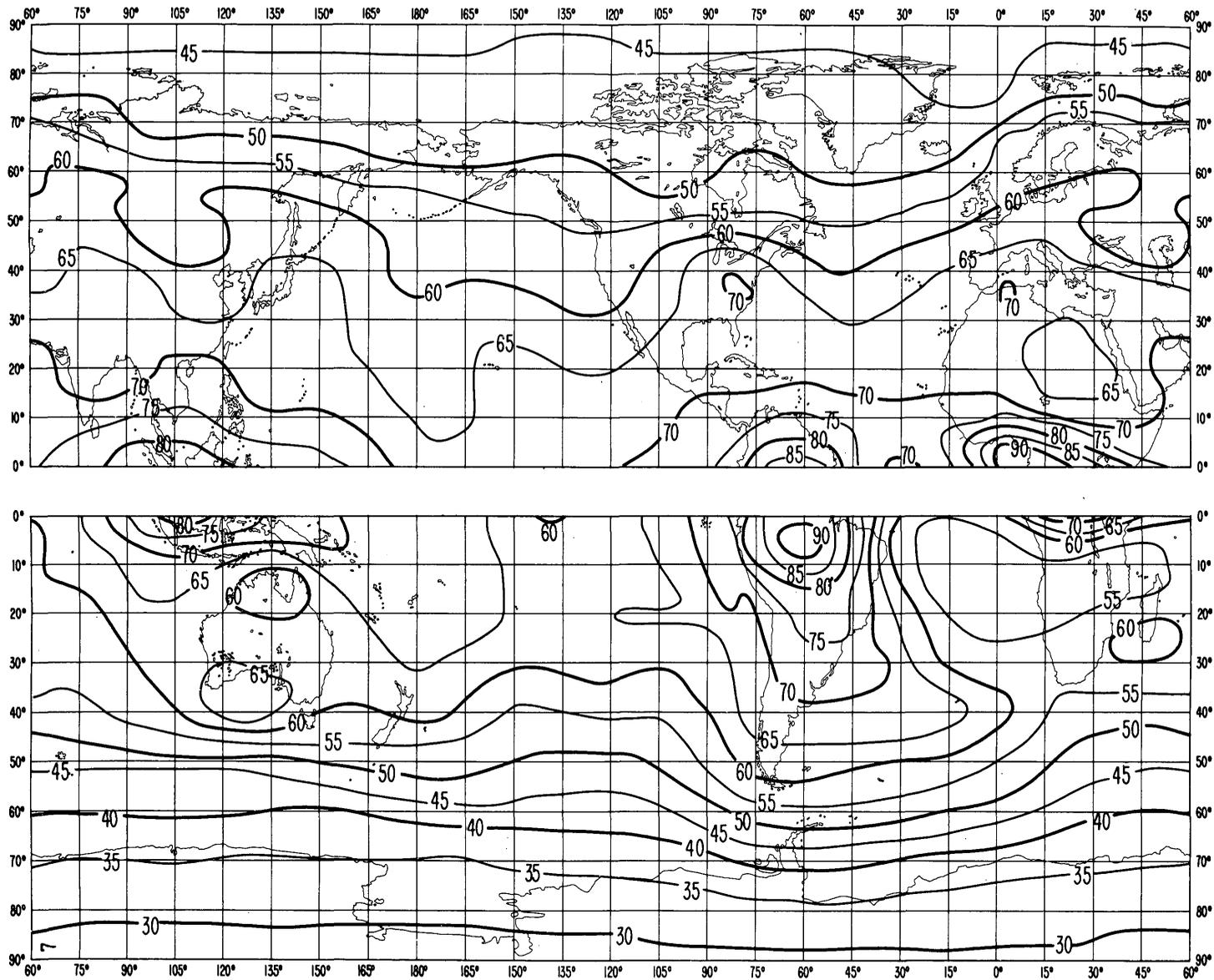


FIGURE 7a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Hiver; 2000-2400 h)

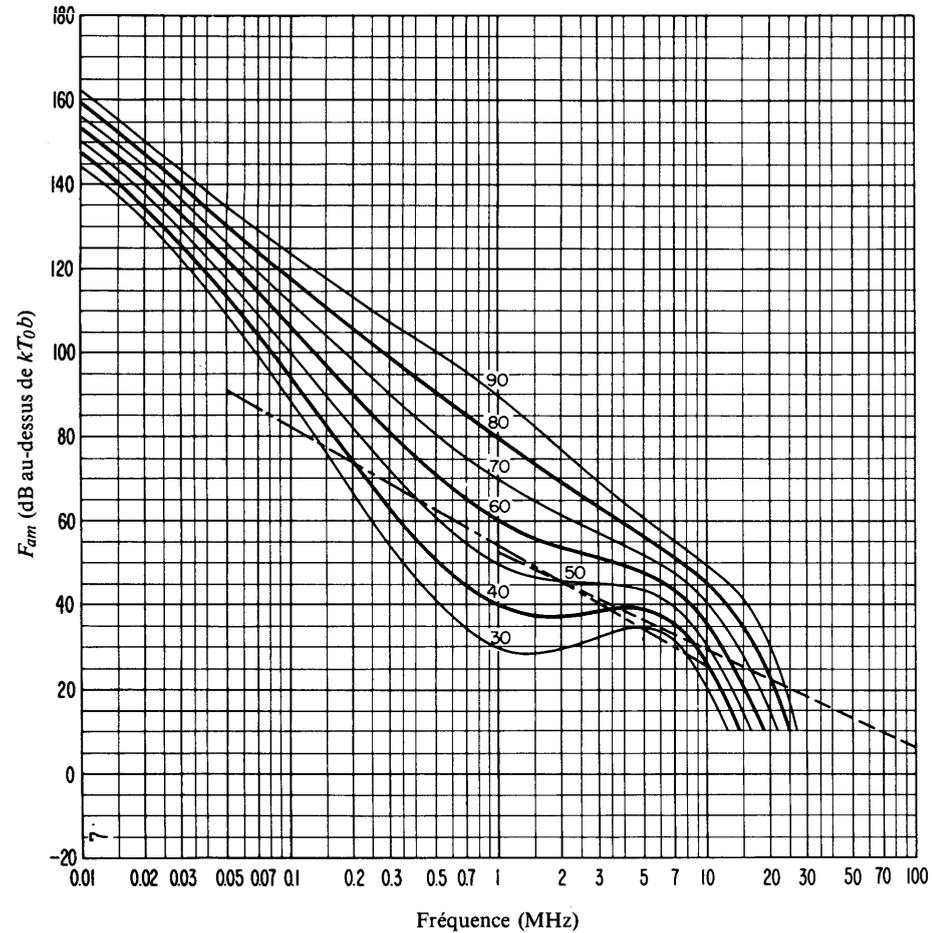


FIGURE 7b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hiver; 2000-2400 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- · - · - Valeurs attendues du bruit galactique

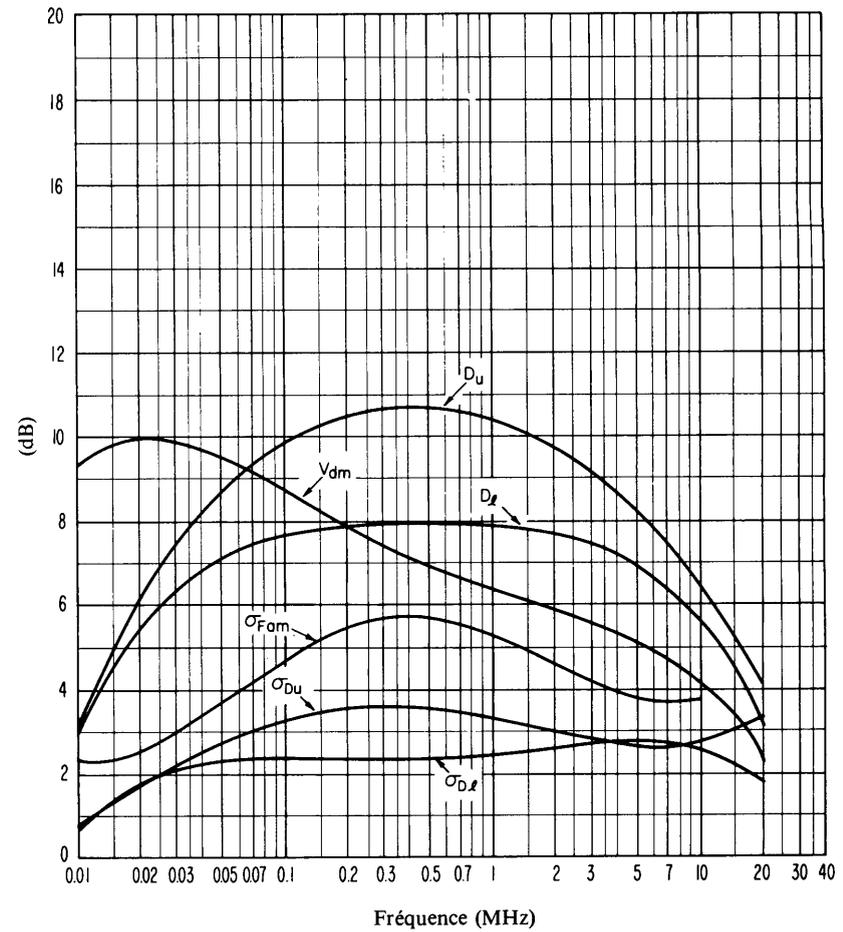


FIGURE 7c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hiver; 2000-2400 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

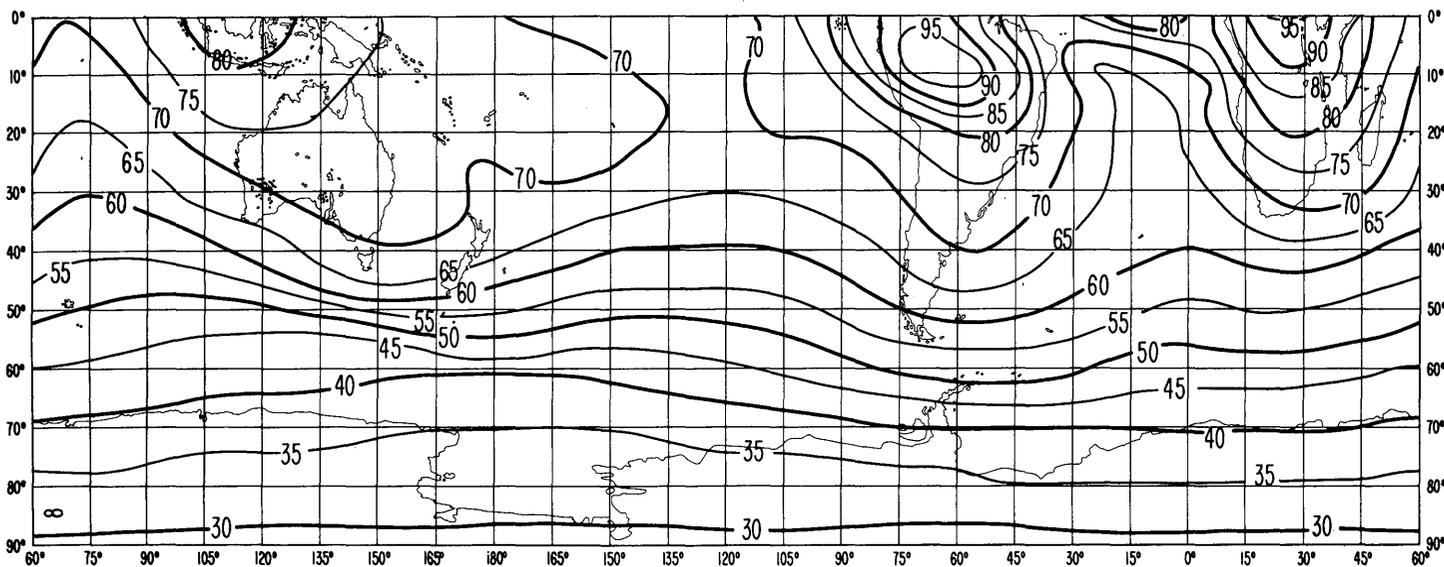
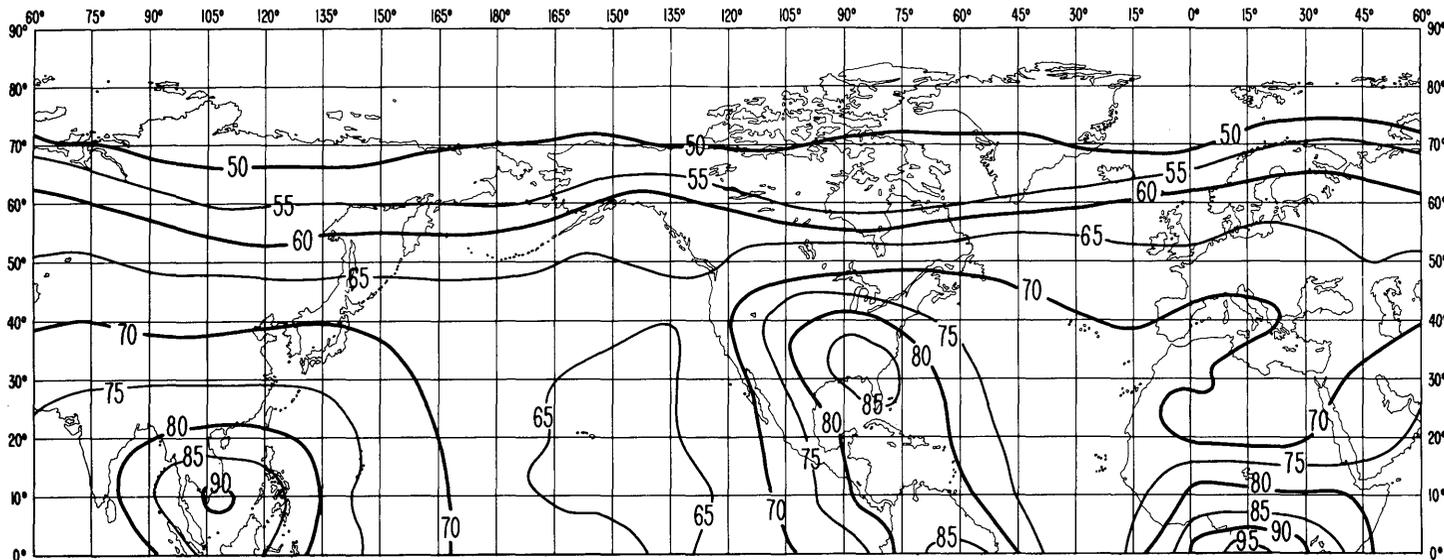


FIGURE 8a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Printemps; 0000-0400 h)

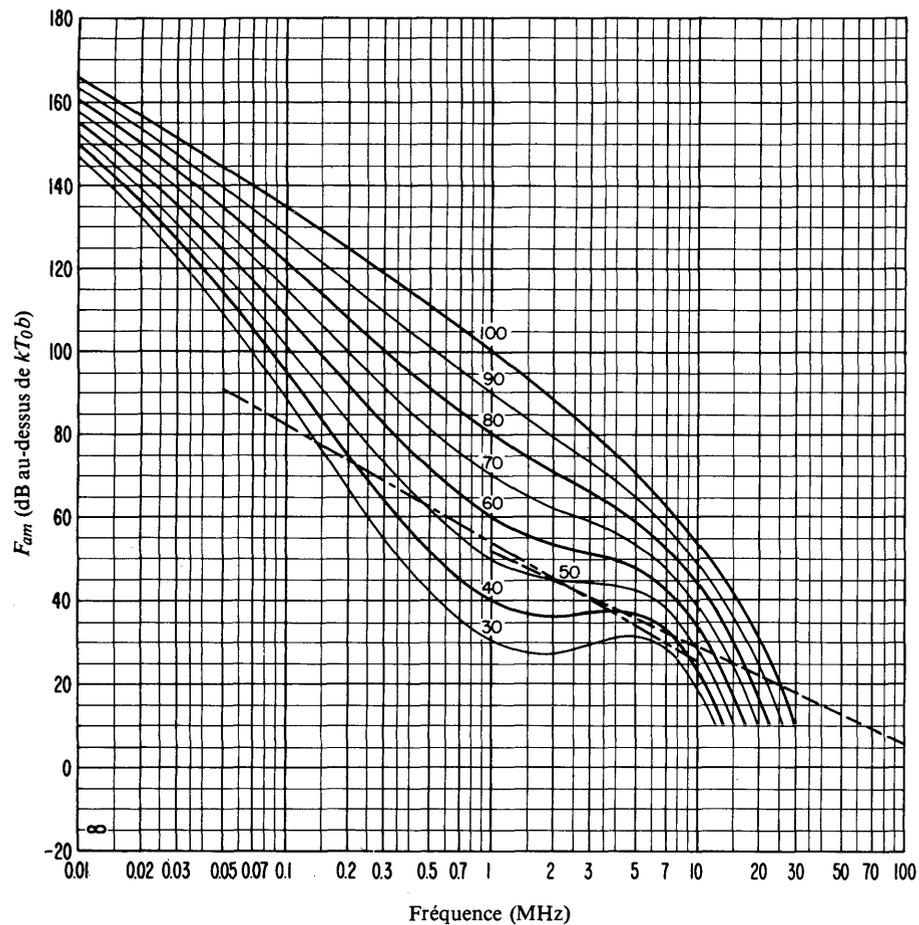


FIGURE 8b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Printemps; 0000-0400 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

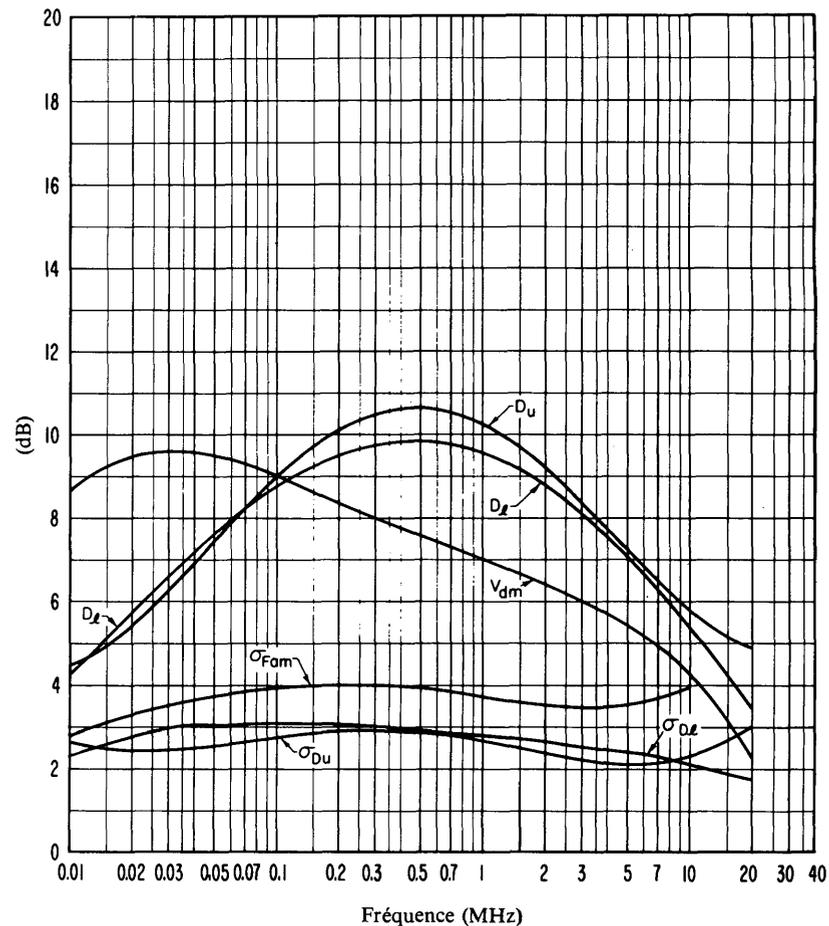


FIGURE 8c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Printemps; 0000-0400 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{Du}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{Dl}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

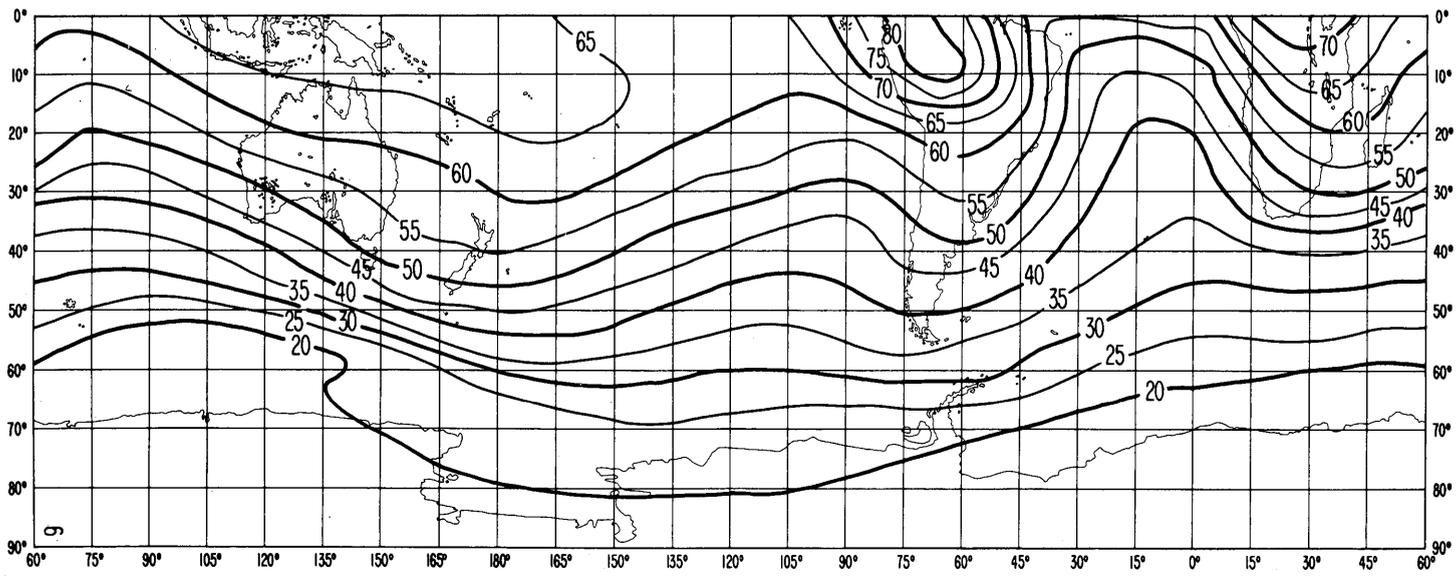
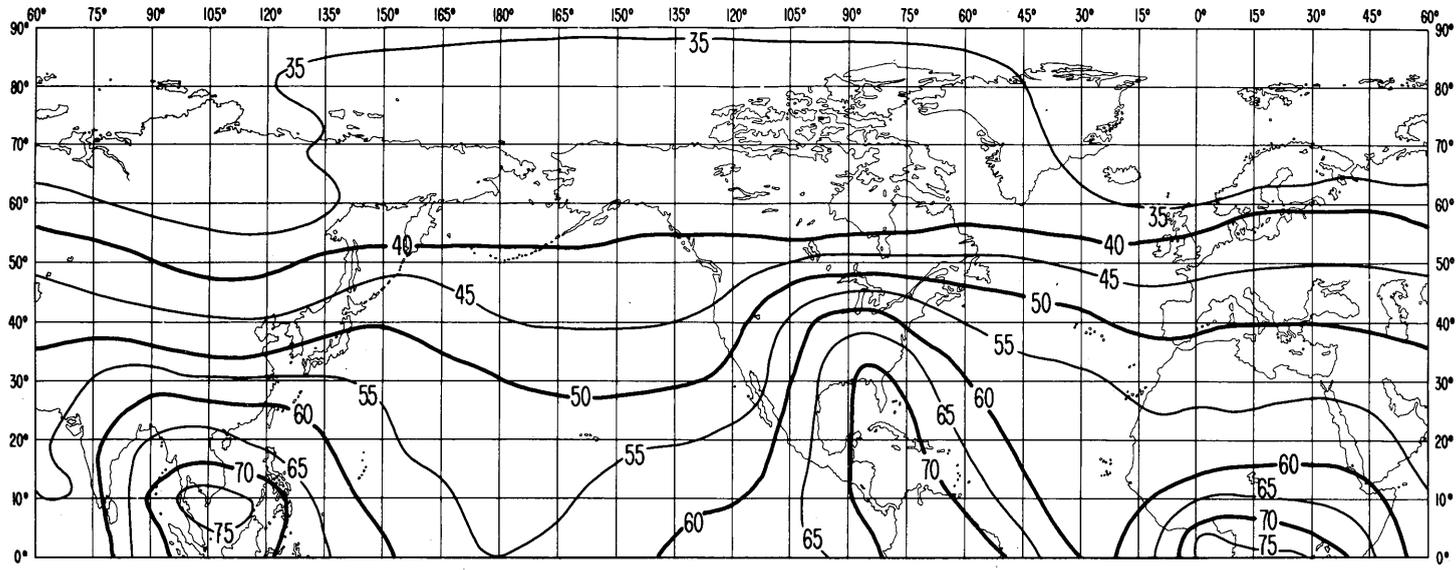


FIGURE 9a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Printemps; 0400-0800 h)

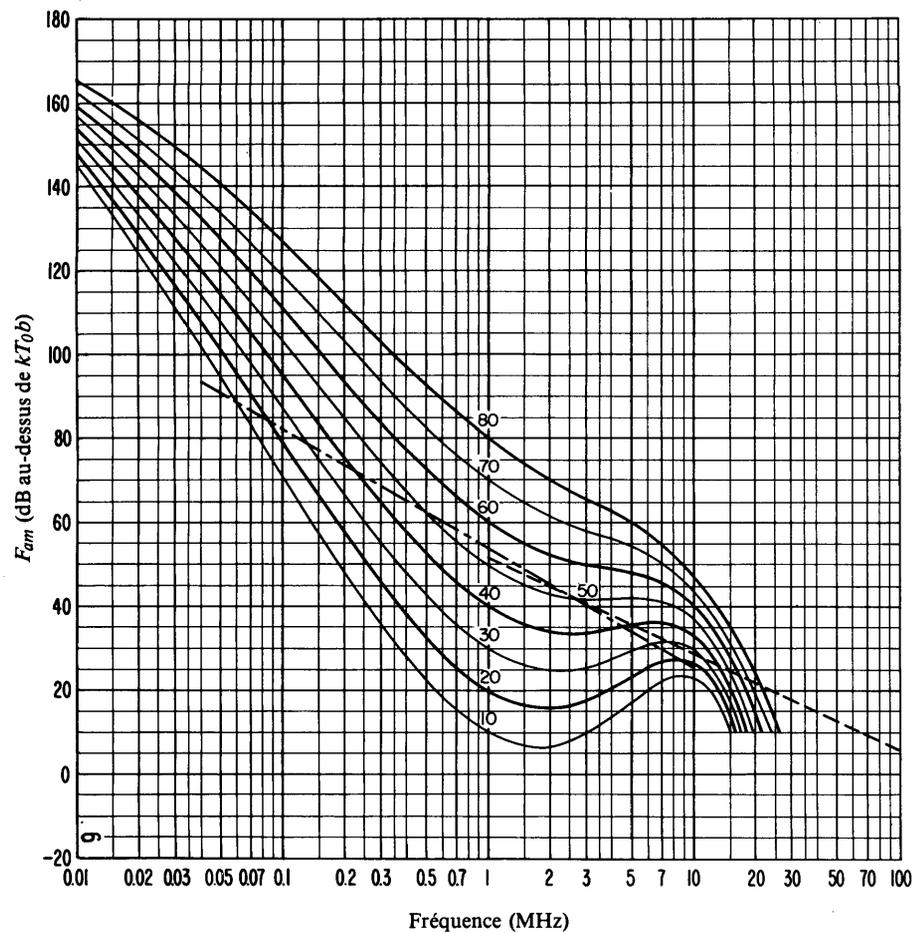


FIGURE 9b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Printemps; 0400-0800 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- · - · - Valeurs attendues du bruit galactique

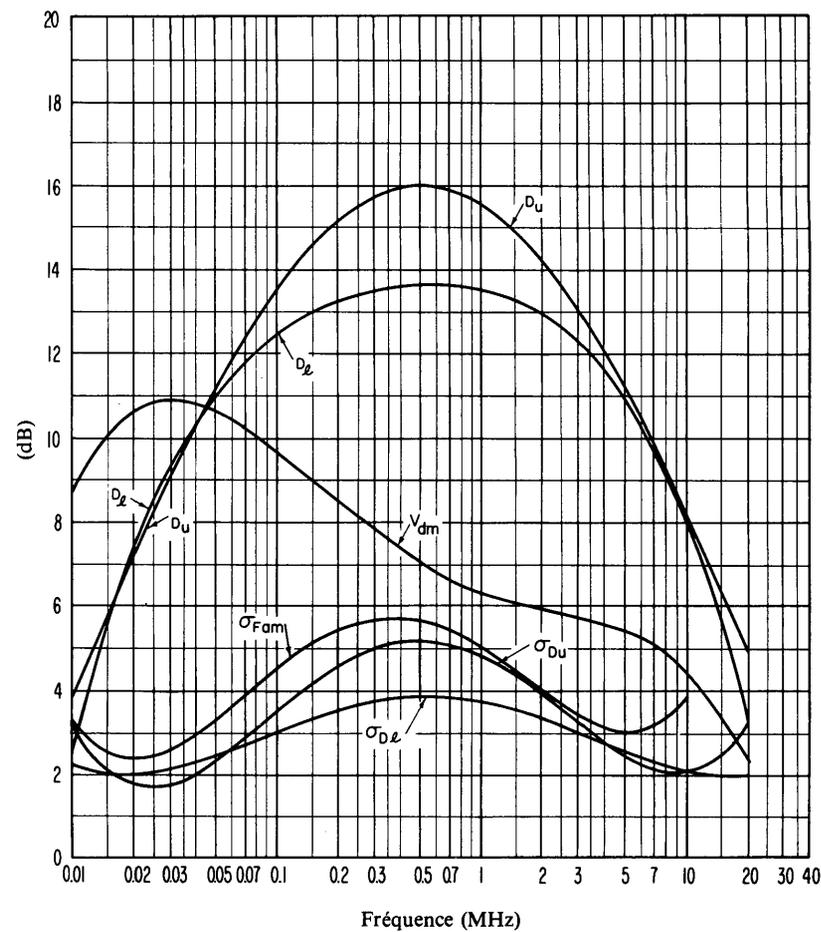


FIGURE 9c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Printemps; 0400-0800 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

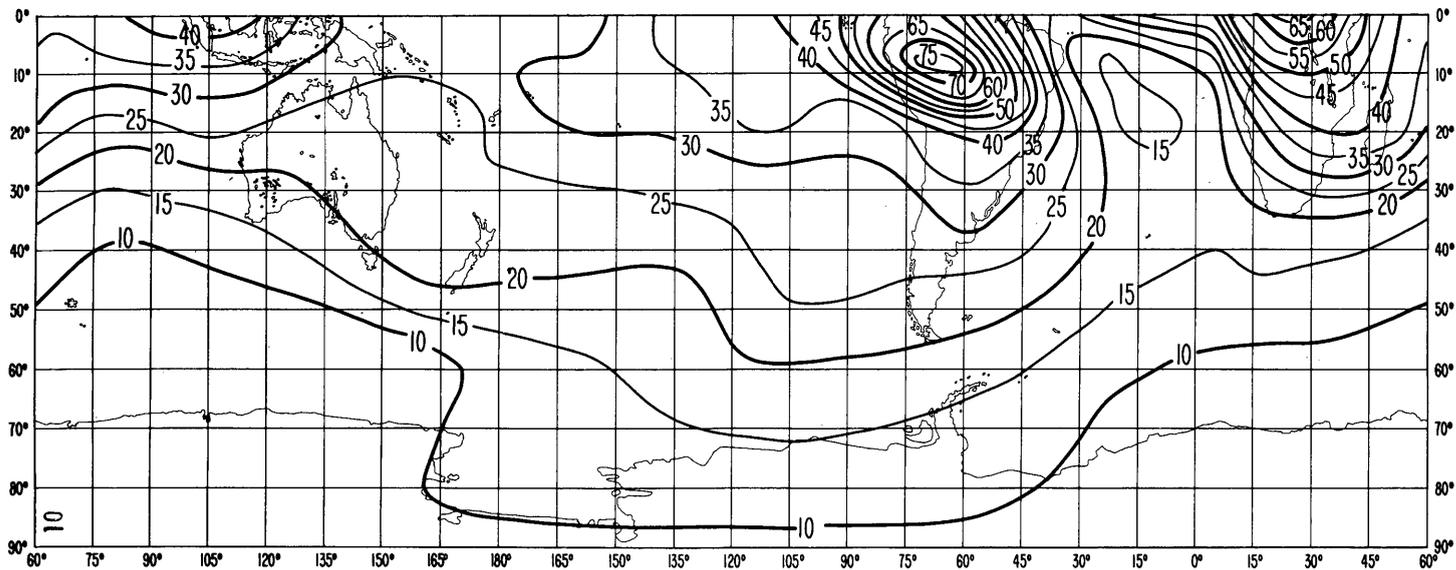
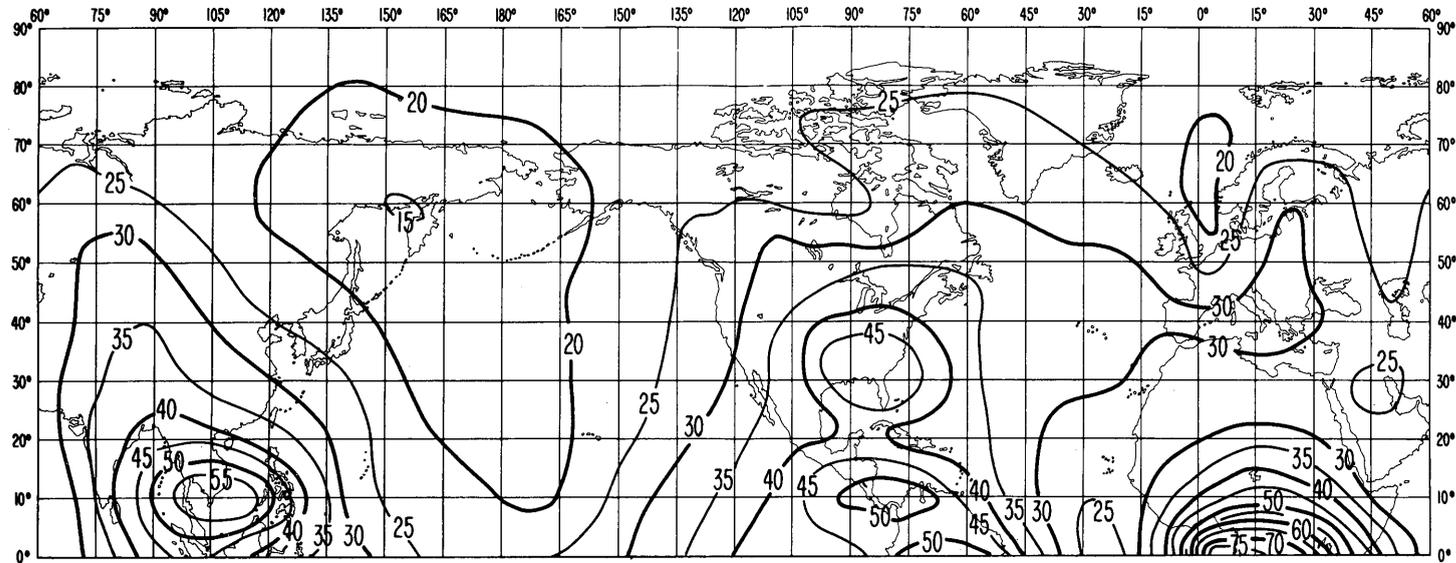


FIGURE 10a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ ,  
 en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz  
 (Printemps; 0800-1200 h)

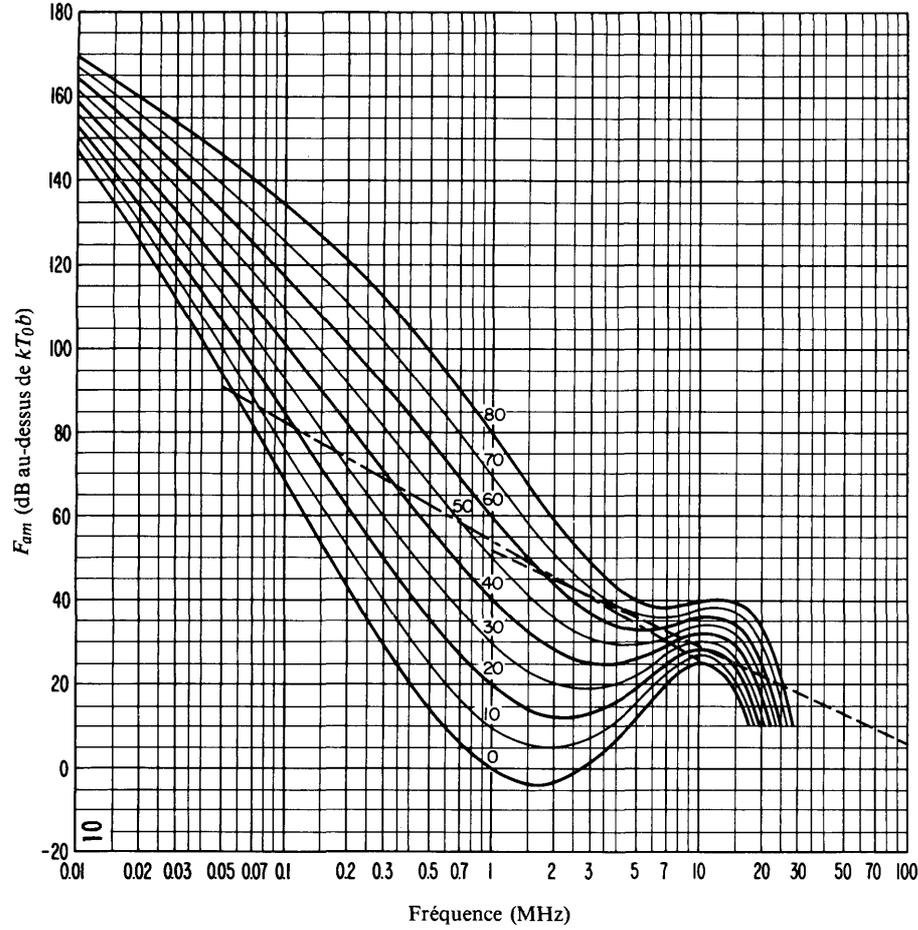


FIGURE 10b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Printemps; 0800-1200 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- ..... Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- Valeurs attendues du bruit galactique

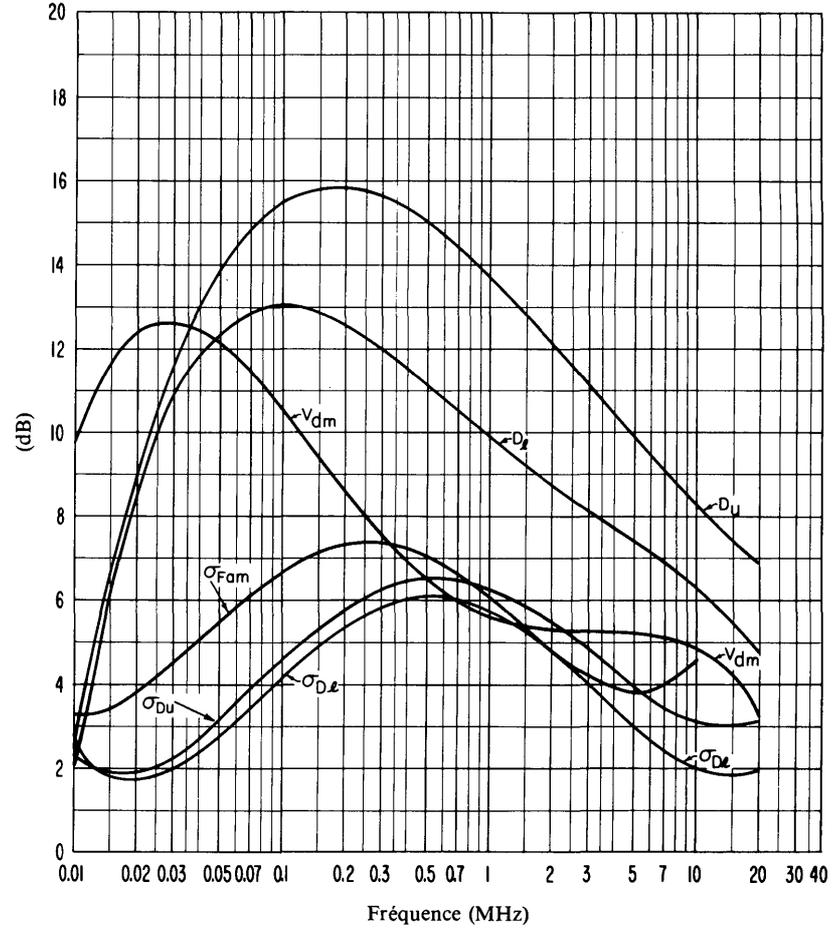


FIGURE 10c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Printemps; 0800-1200 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

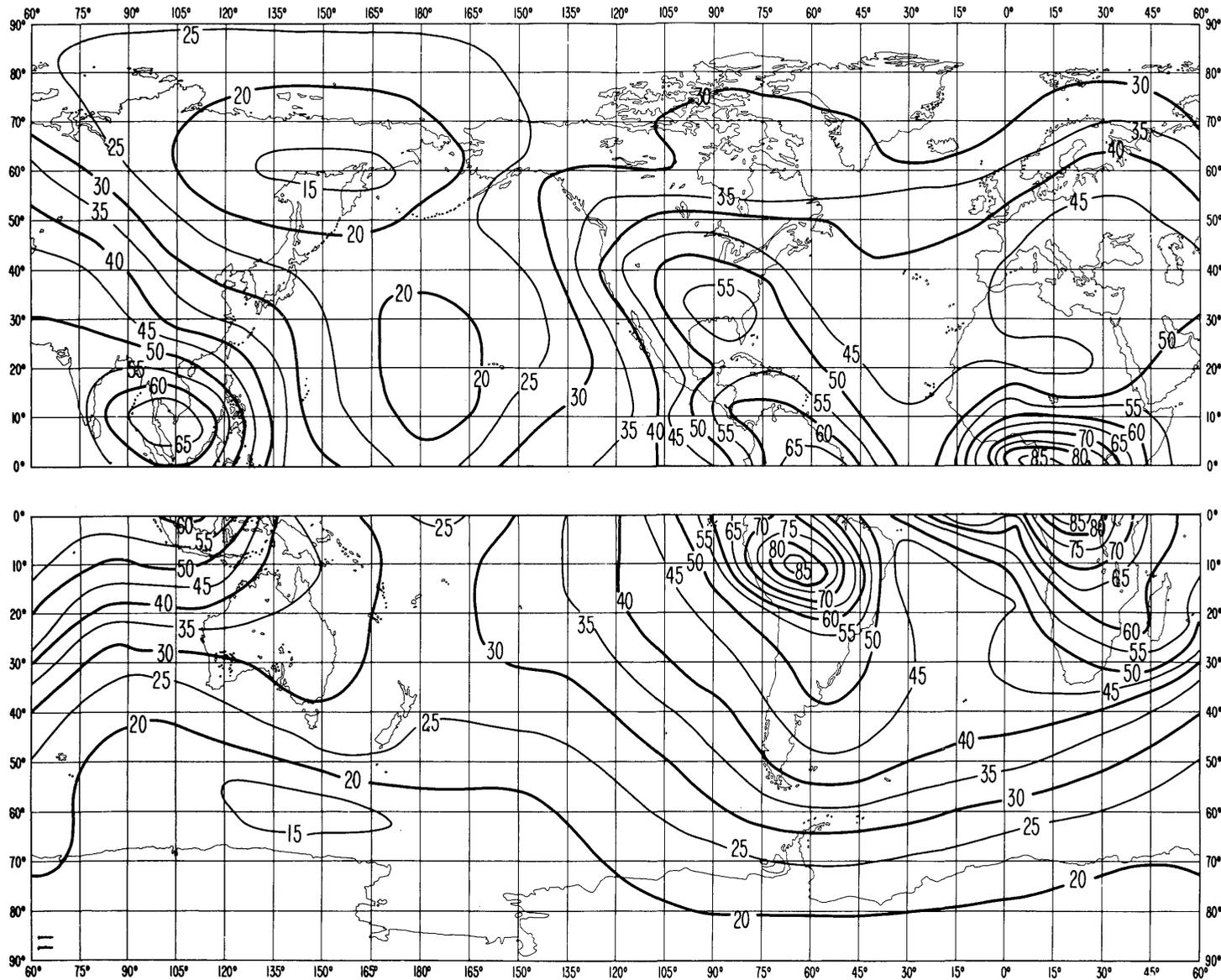


FIGURE 11a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Printemps; 1200-1600 h)

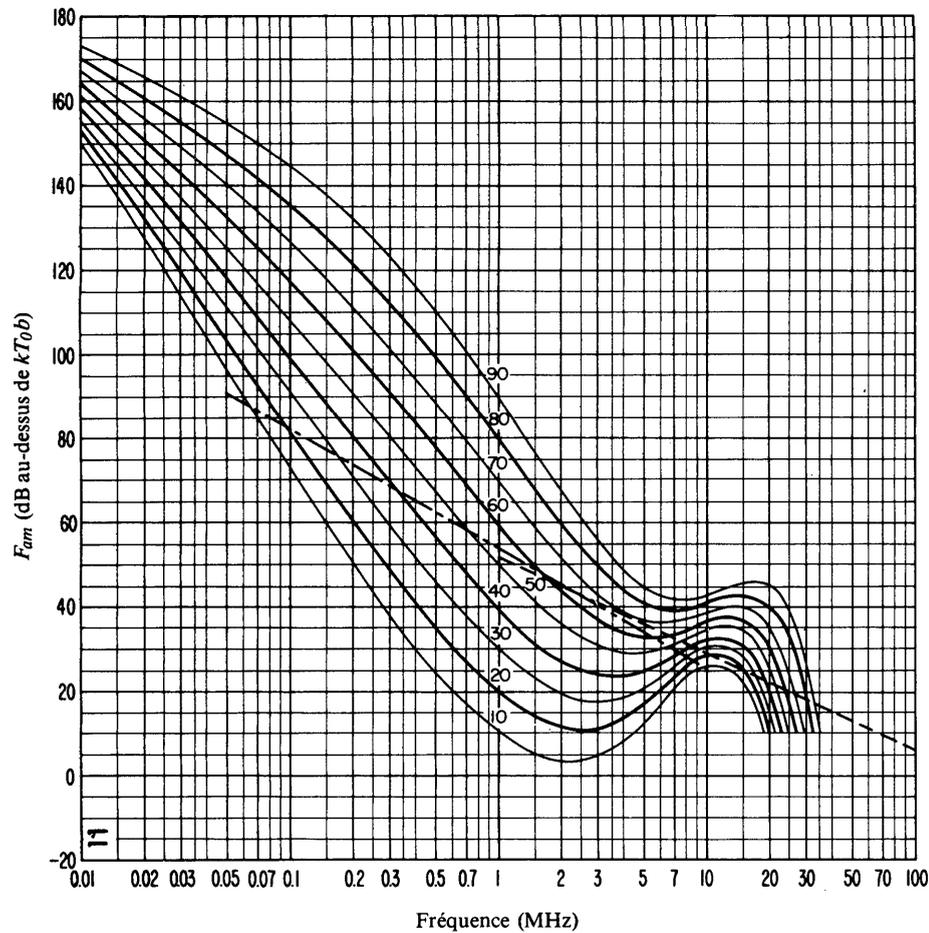


FIGURE 11b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Printemps; 1200-1600 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

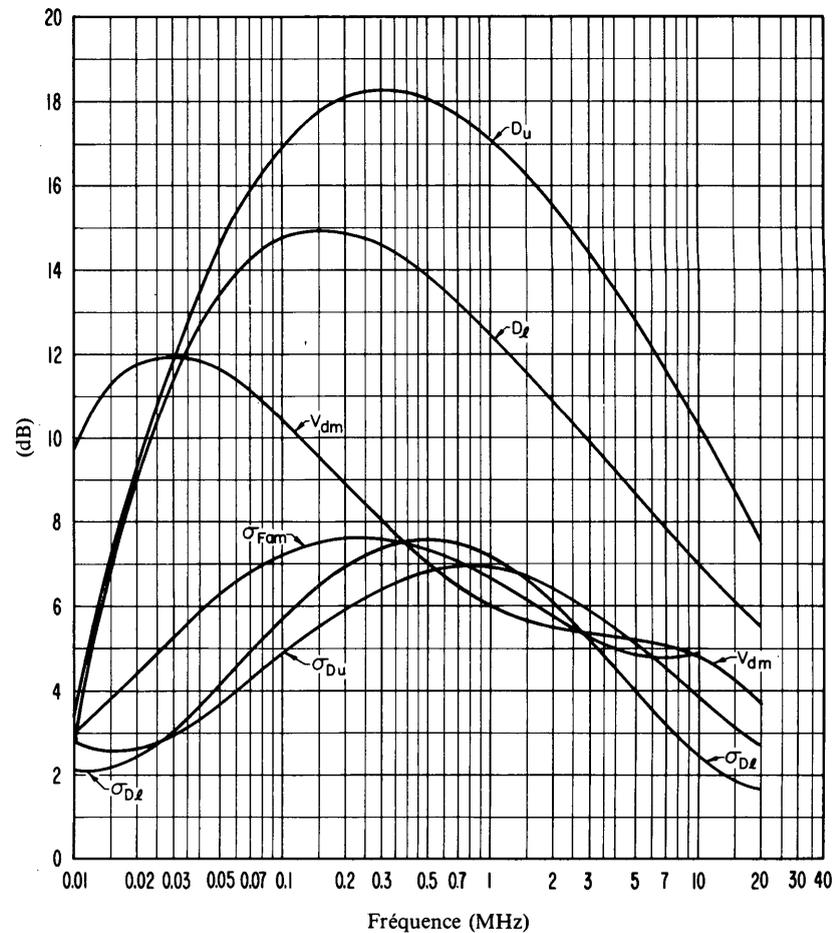


FIGURE 11c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Printemps; 1200-1600 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

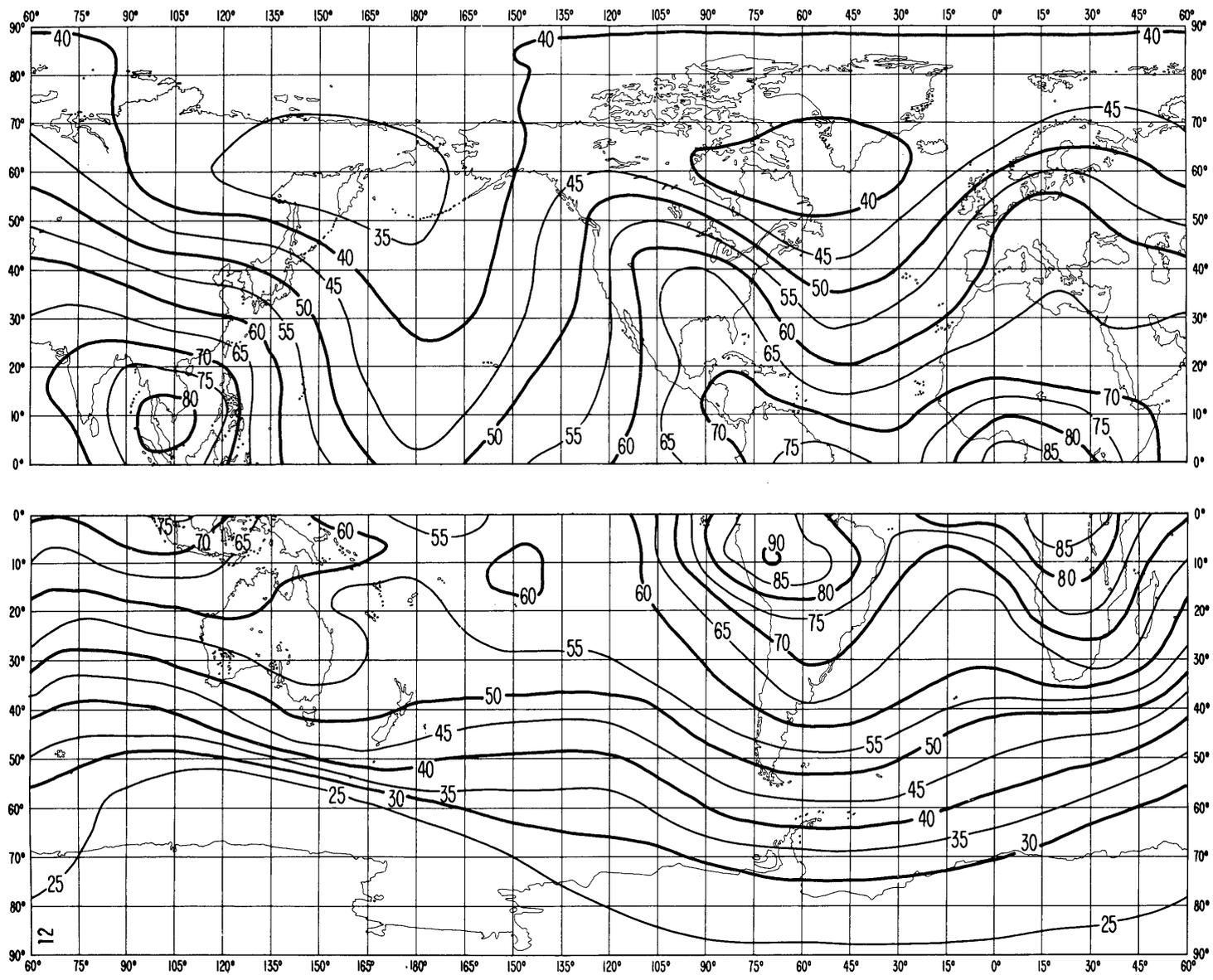


FIGURE 12a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Printemps; 1600-2000 h)

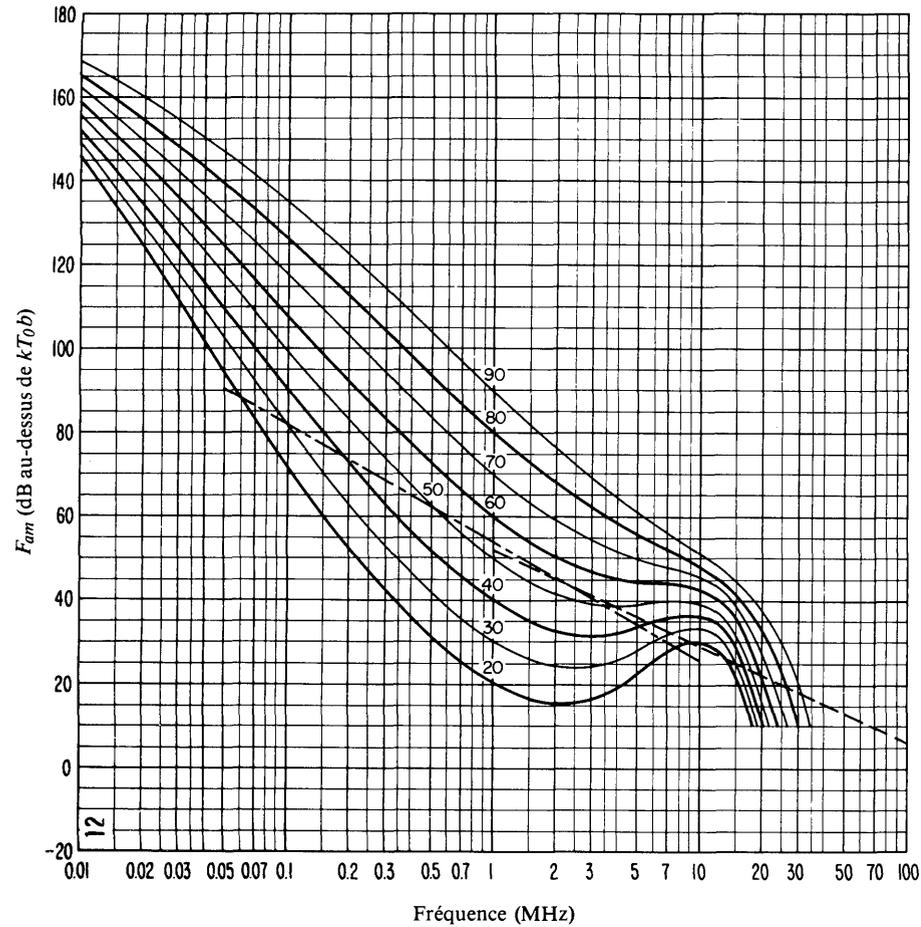


FIGURE 12b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Printemps; 1600-2000 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- . - . - . Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

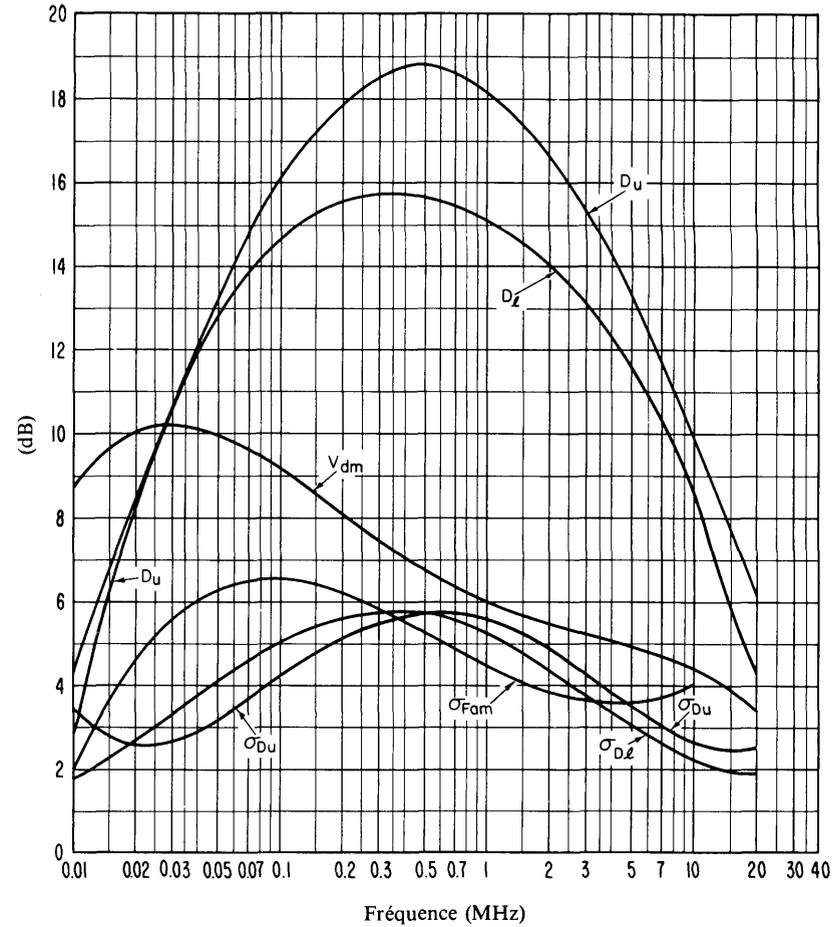


FIGURE 12c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Printemps; 1600-2000 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

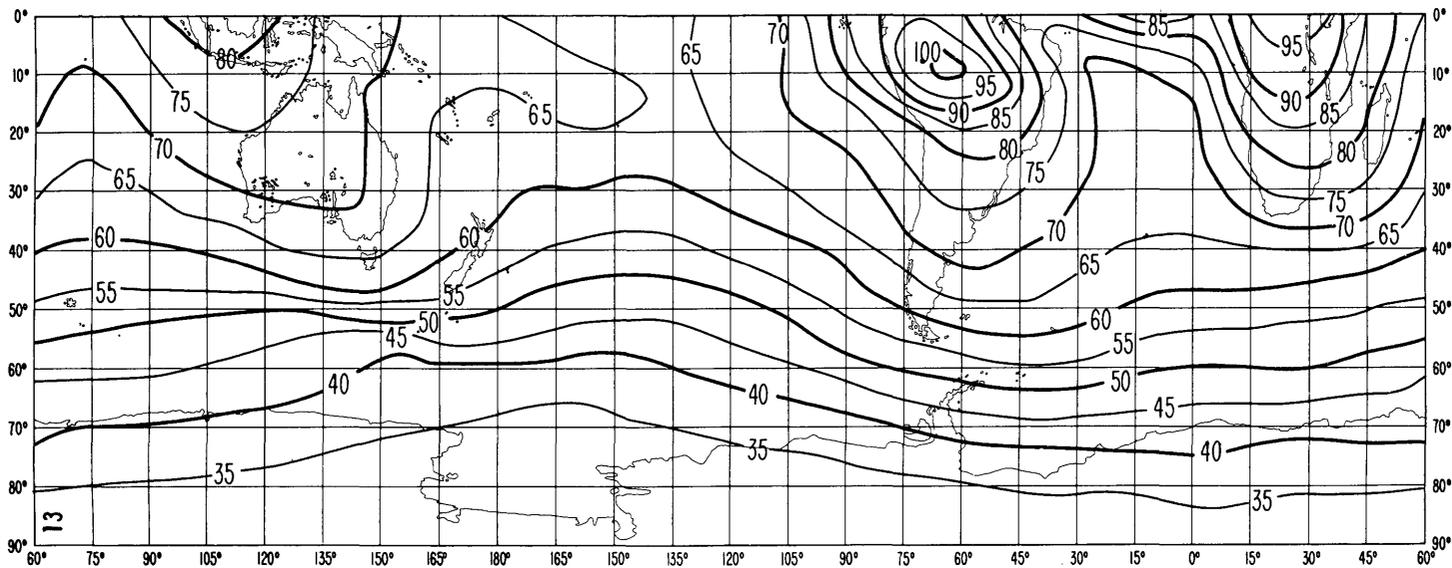
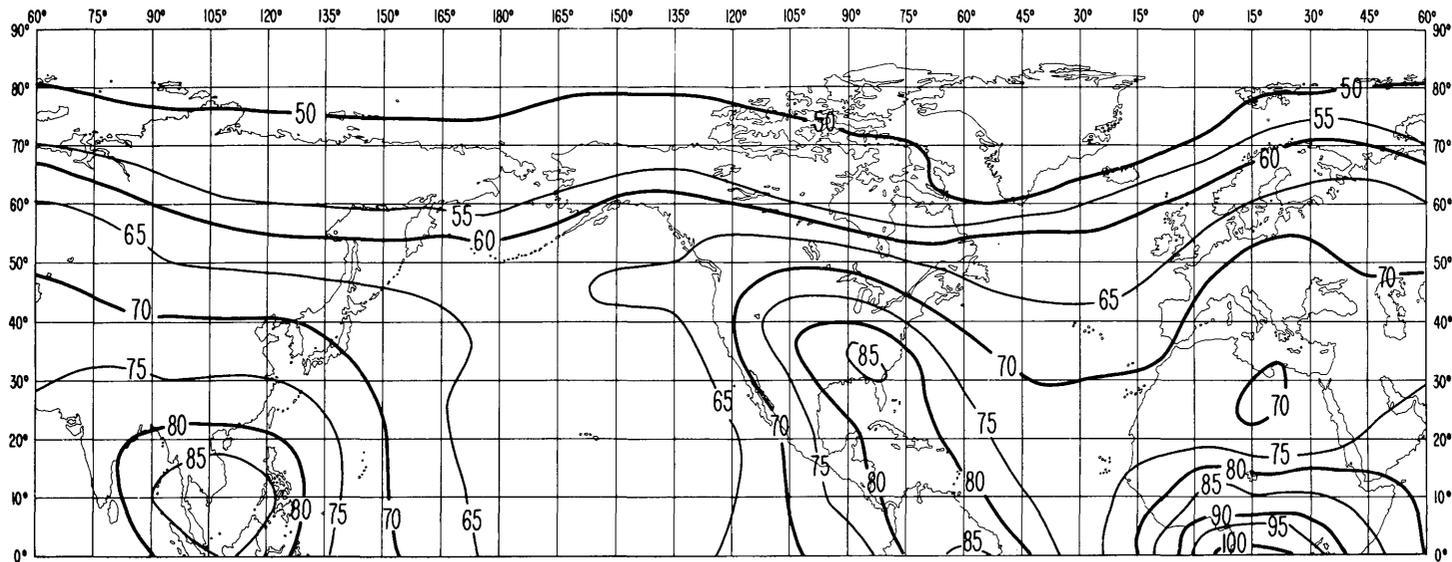


FIGURE 13a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Printemps; 2000-2400 h)

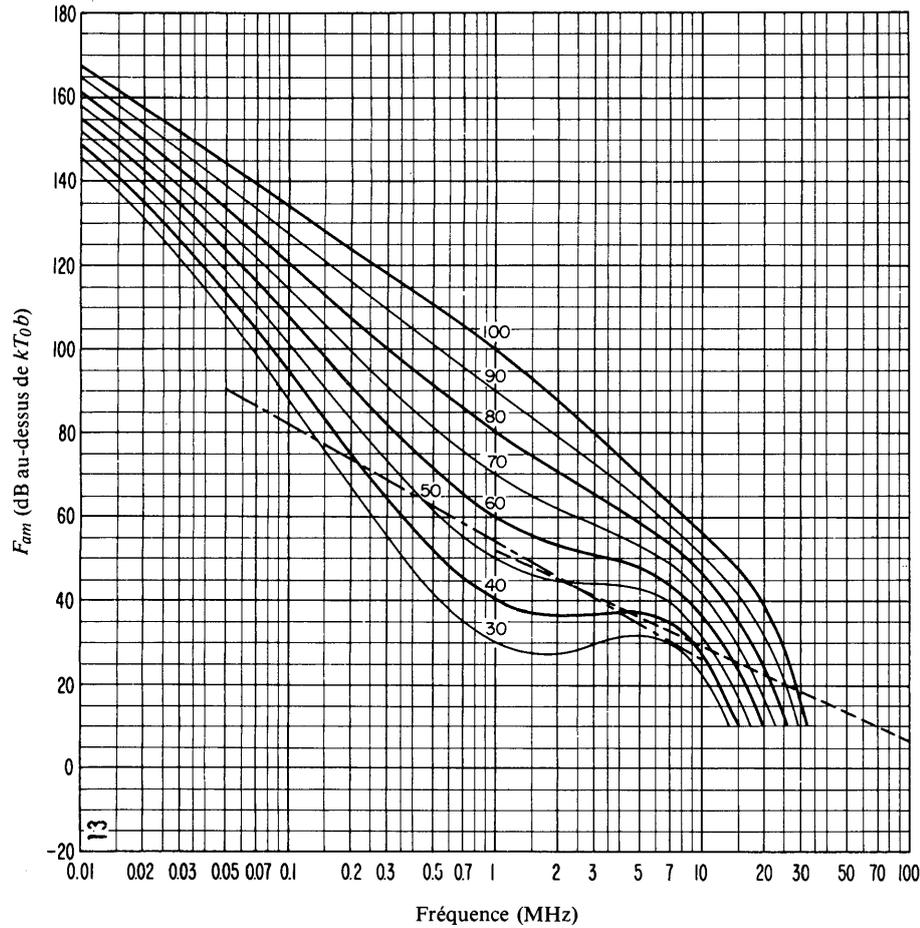


FIGURE 13b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Printemps; 2000-2400 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- · - · - · Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- Valeurs attendues du bruit galactique

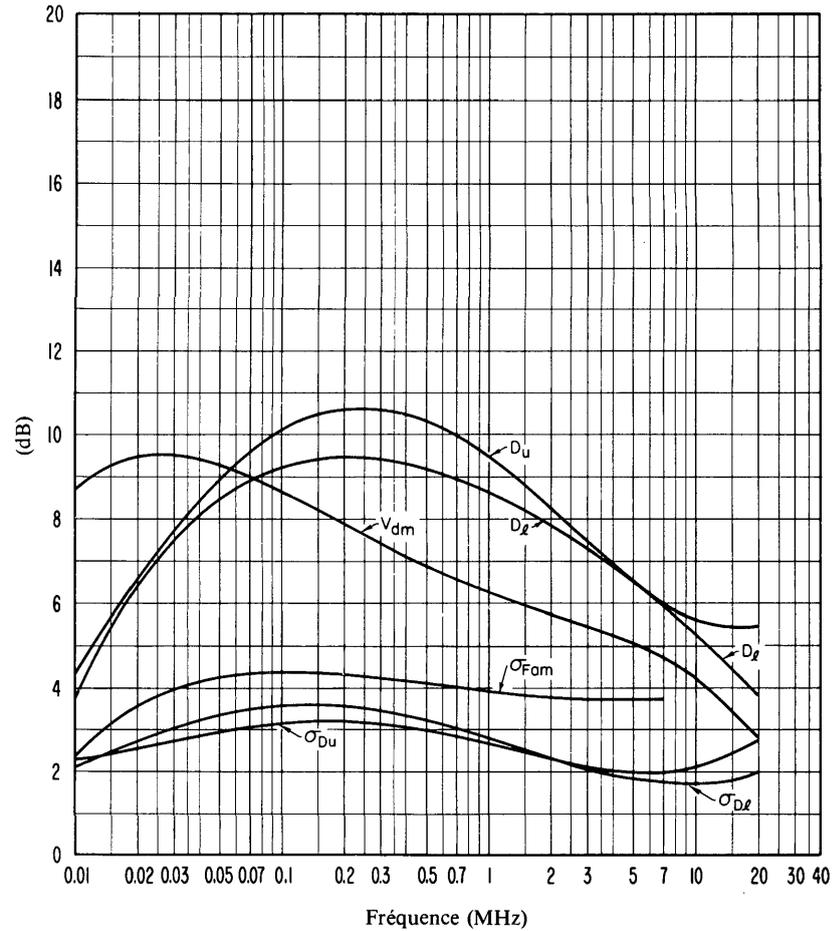


FIGURE 13c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Printemps; 2000-2400 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

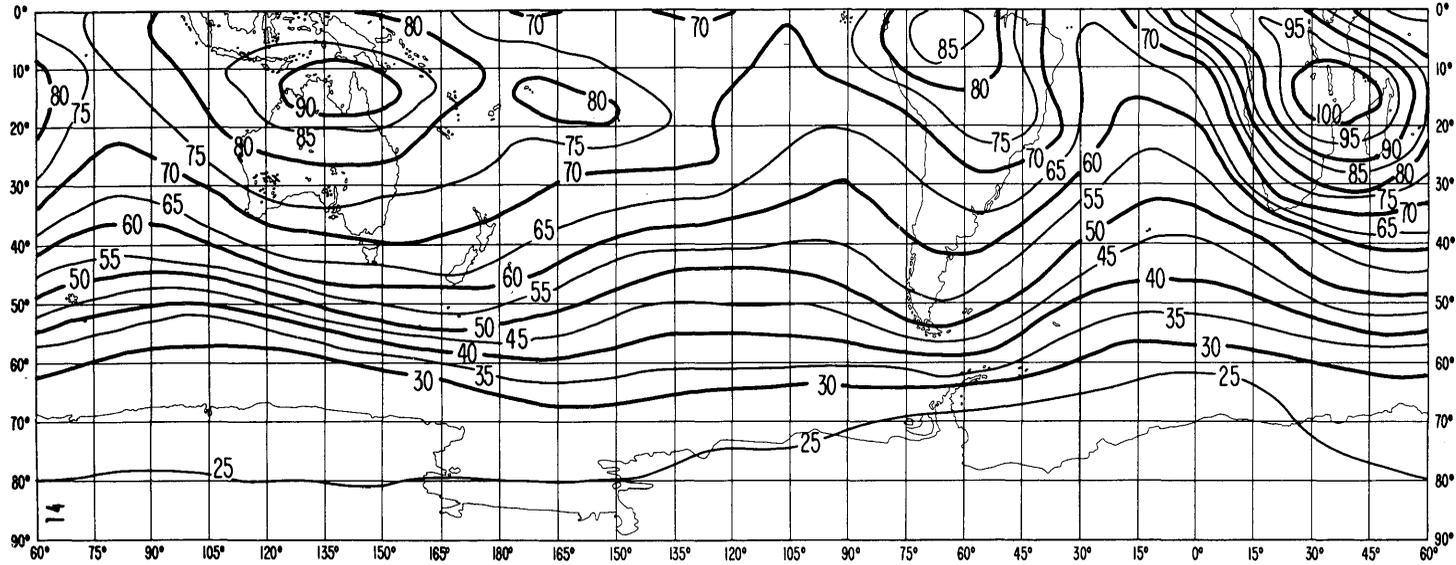
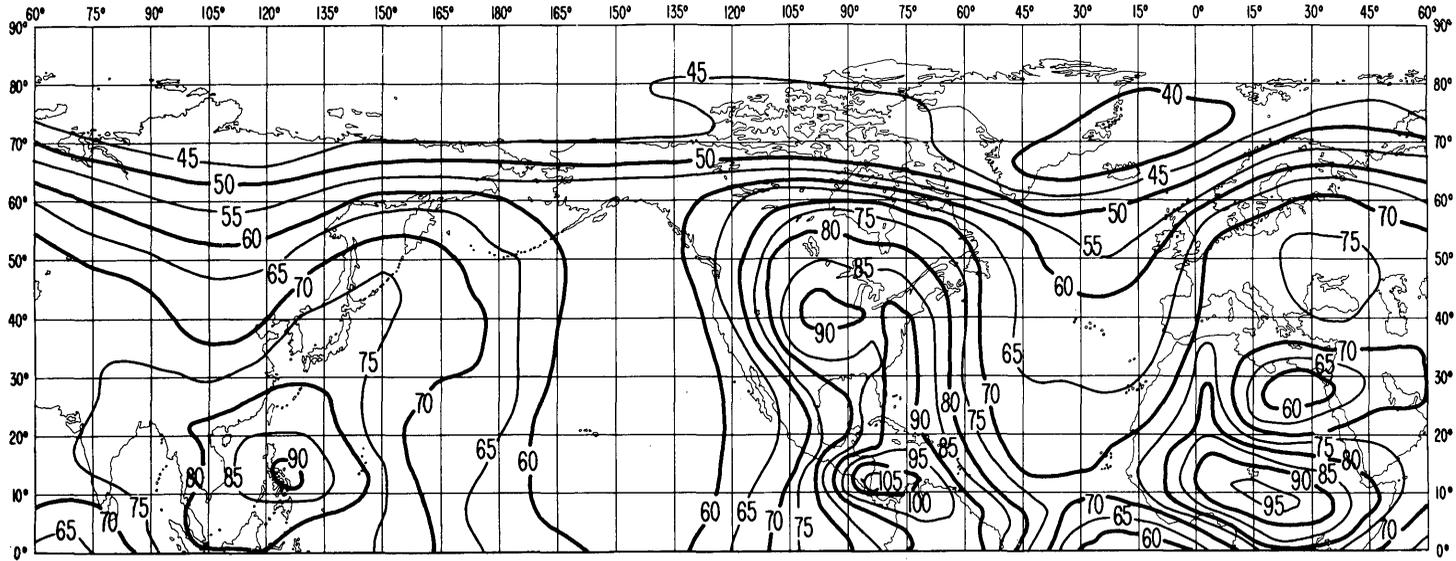


FIGURE 14a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ ,  
 en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz  
 (Eté; 0000-0400 h)

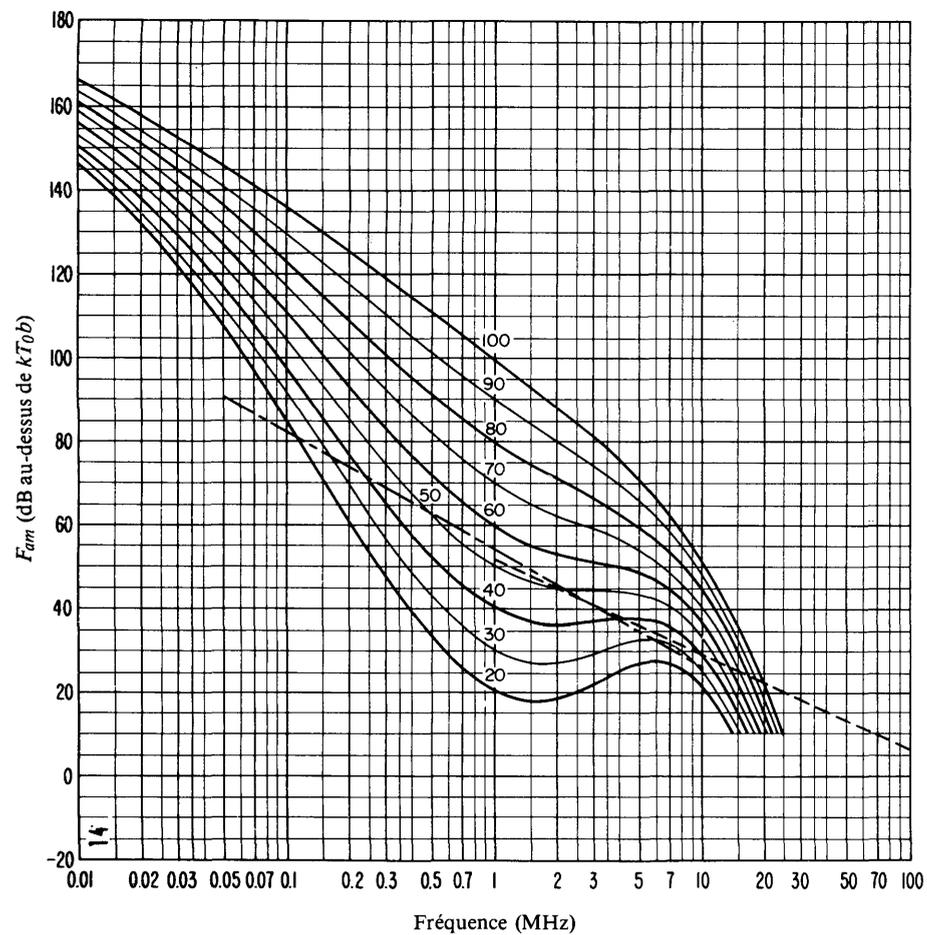


FIGURE 14b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Eté; 0000-0400 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

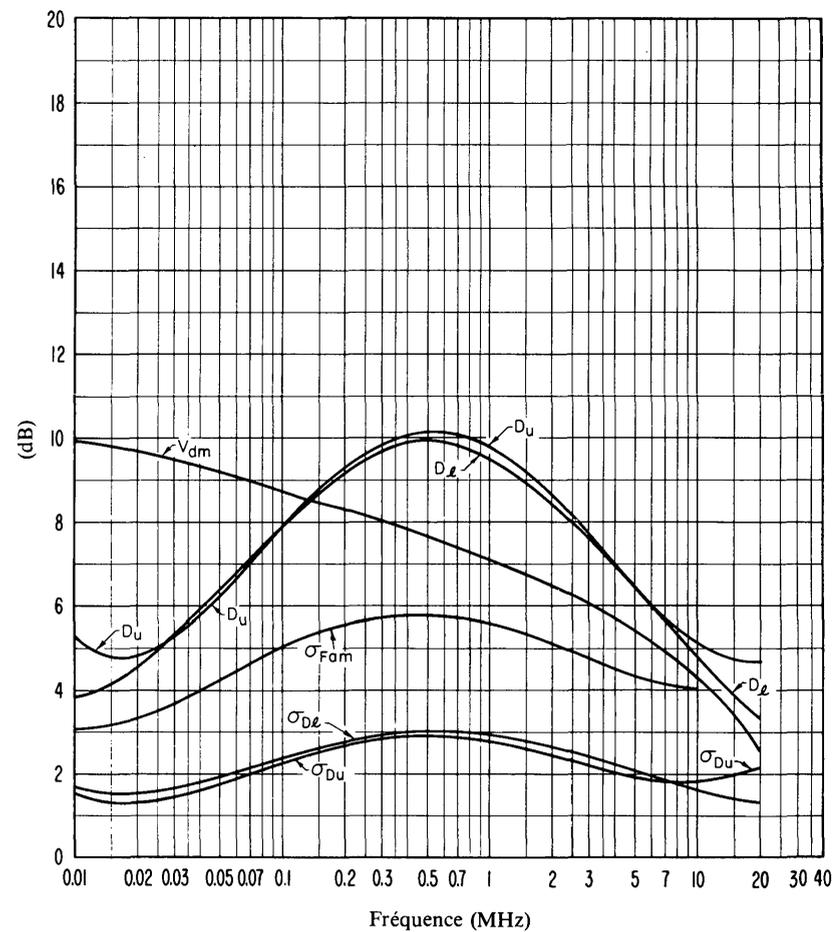


FIGURE 14c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Eté; 0000-0400 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

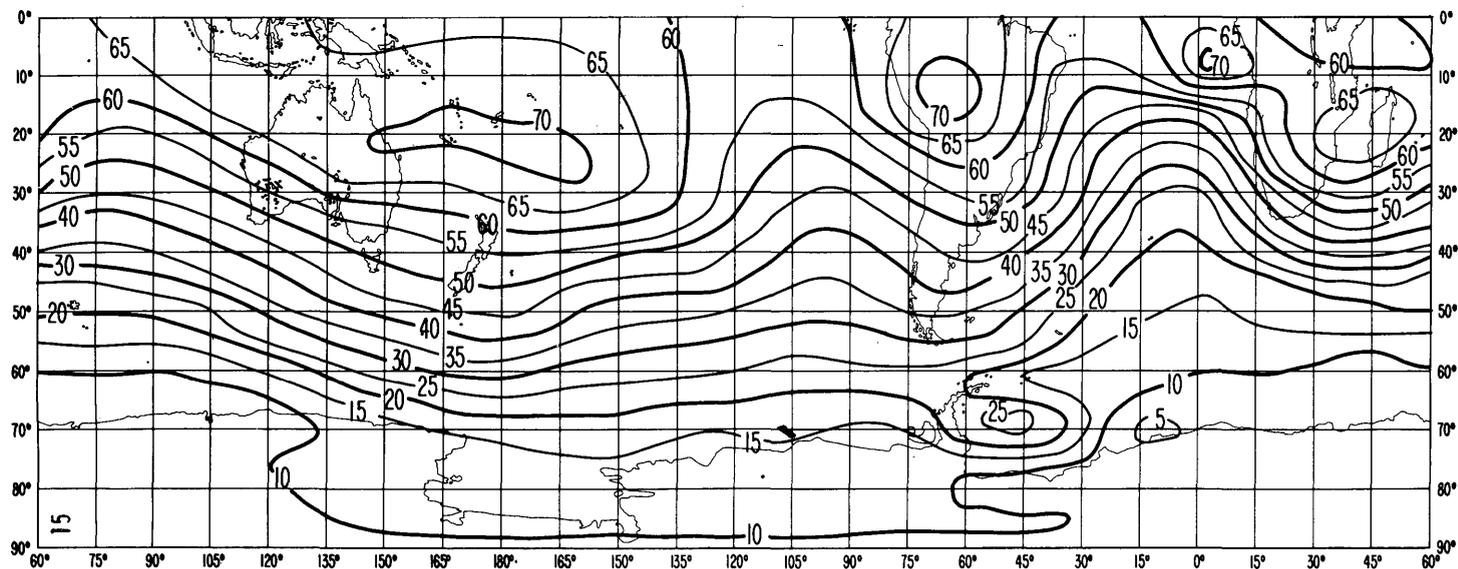
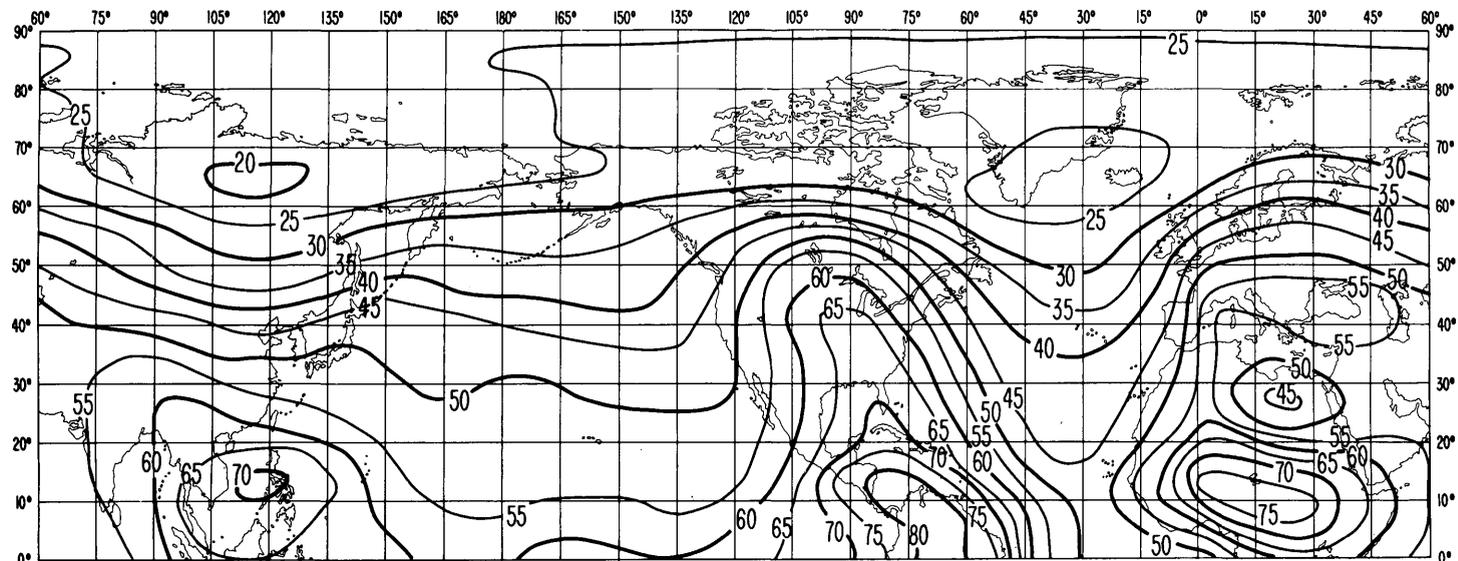


FIGURE 15a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ ,  
en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz  
(Eté; 0400-0800 h)

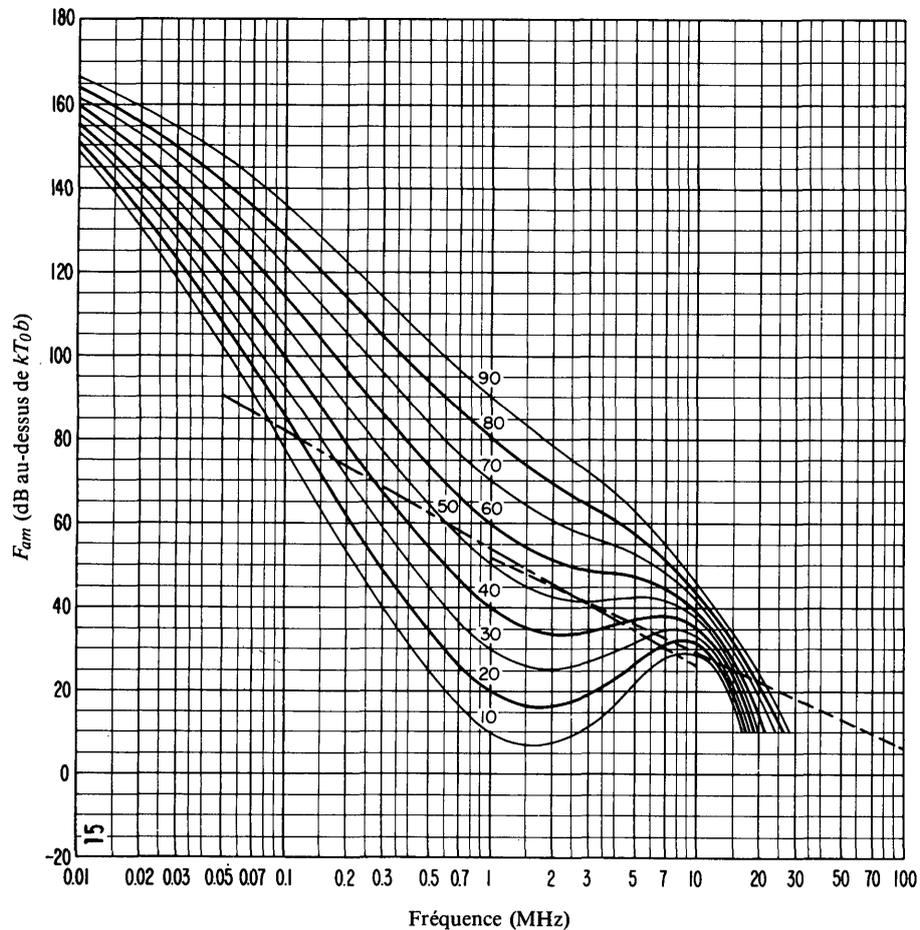


FIGURE 15b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Eté; 0400-0800 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- · - · - Valeurs attendues du bruit galactique

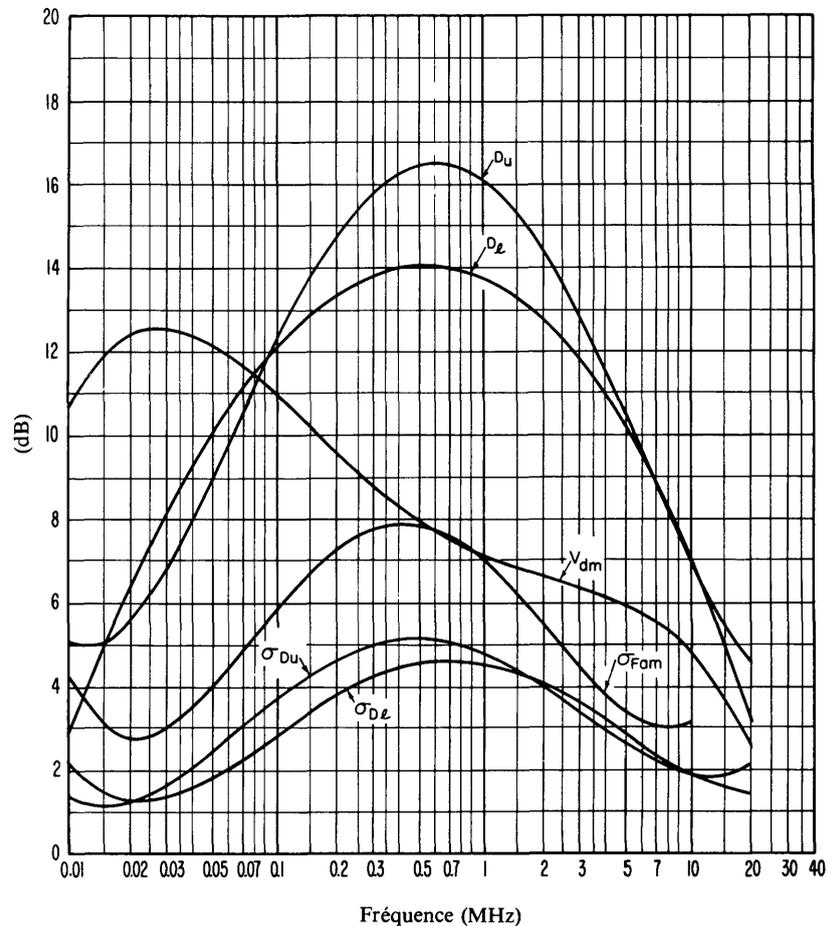


FIGURE 15c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Eté; 0400-0800 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

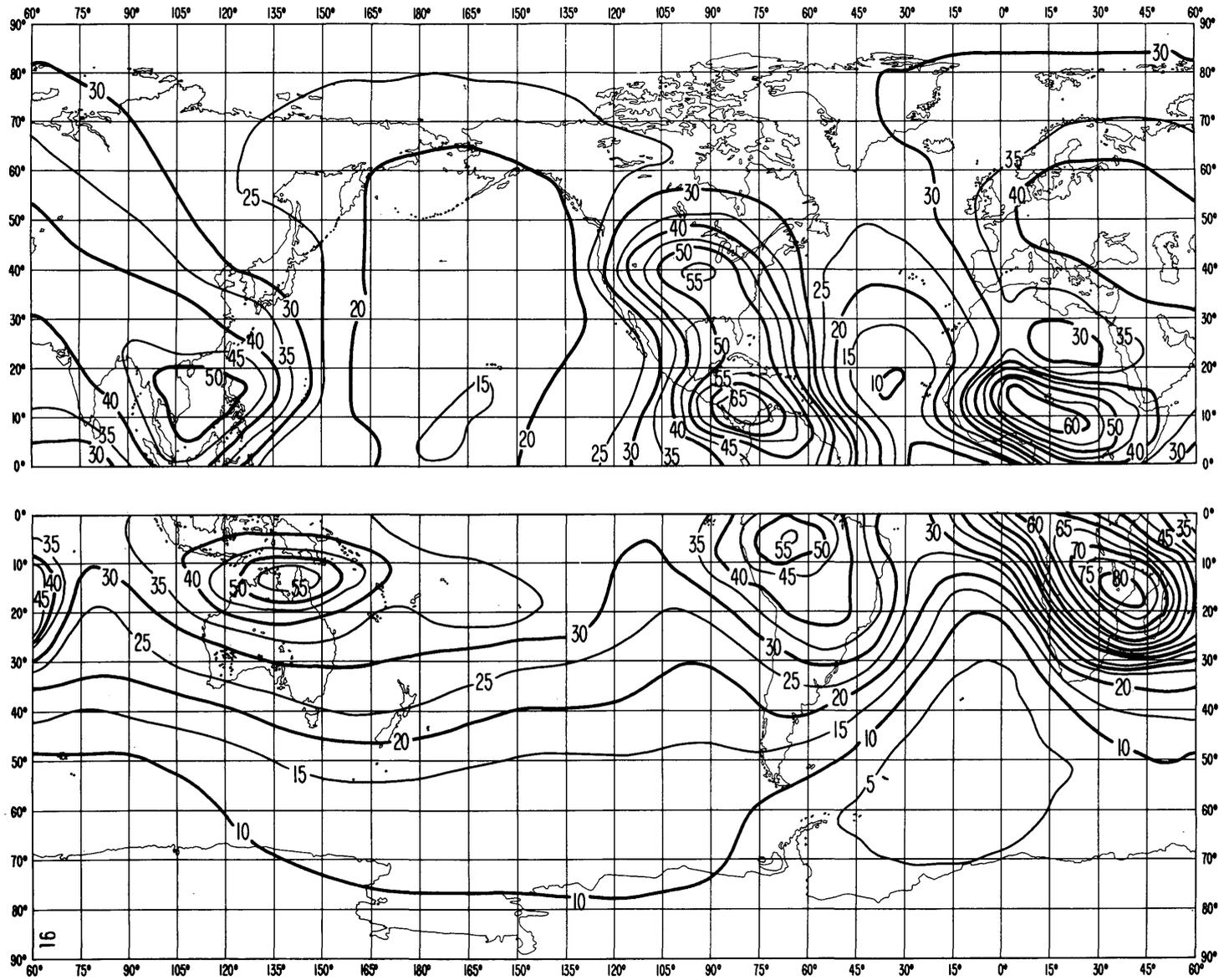


FIGURE 16a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Eté; 0800-1200 h)

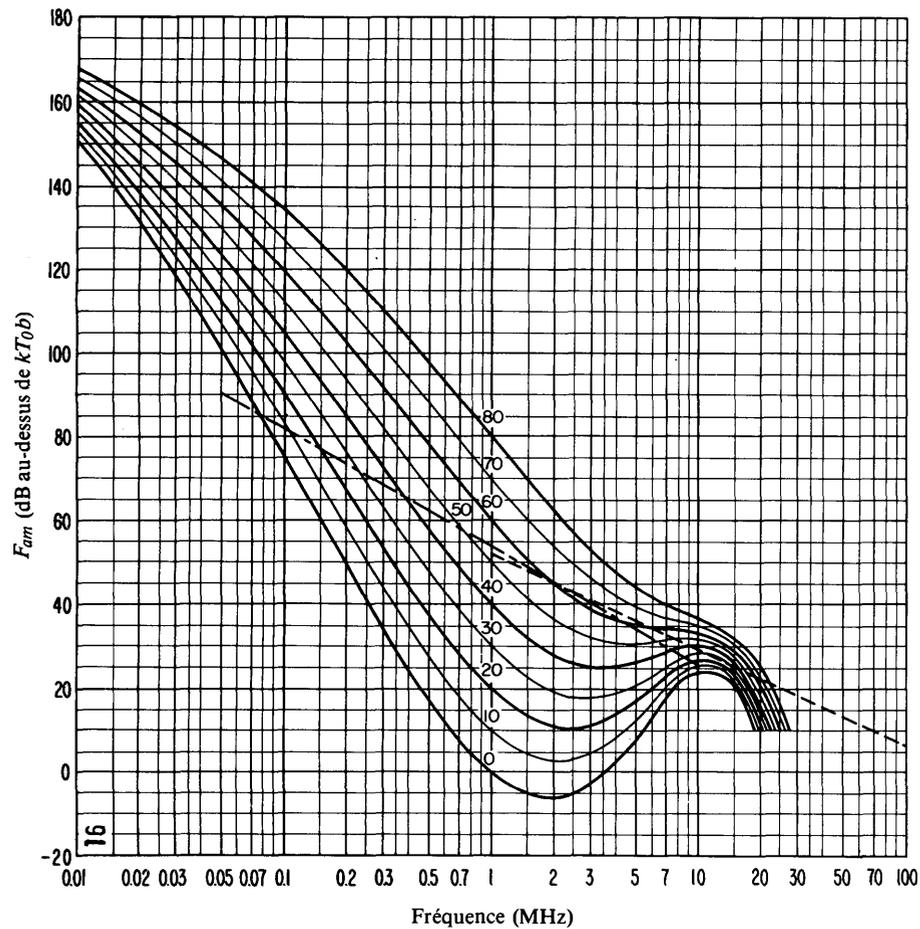


FIGURE 16b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Eté; 0800-1200 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- · - · Valeurs attendues du bruit galactique

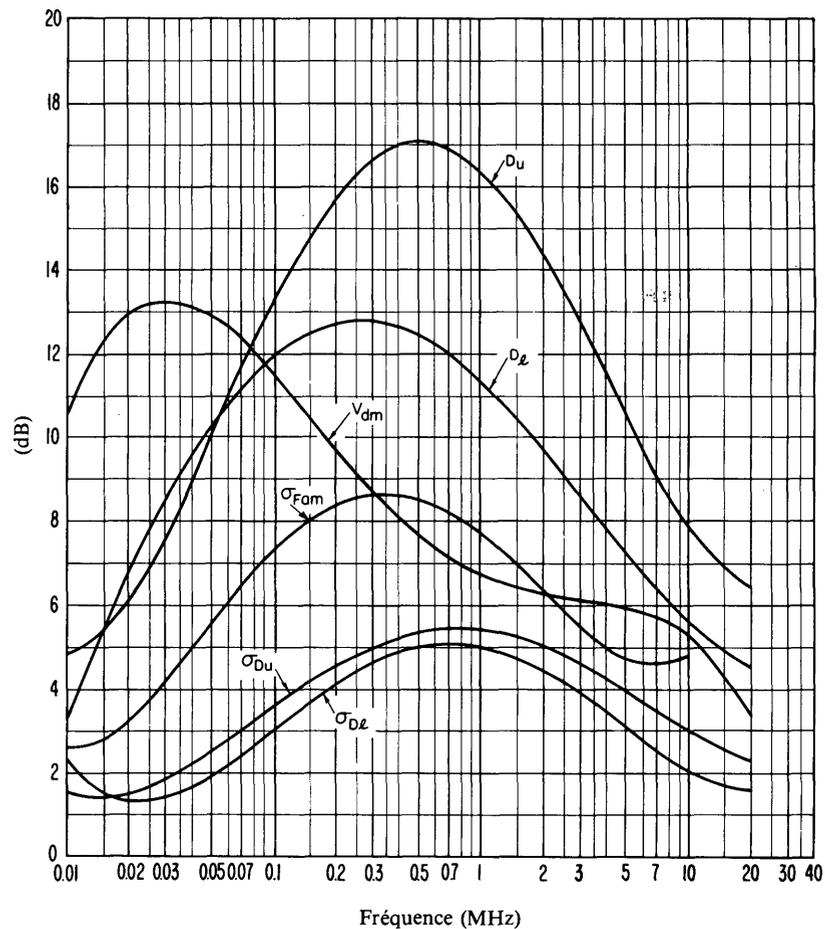


FIGURE 16c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Eté; 0800-1200 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

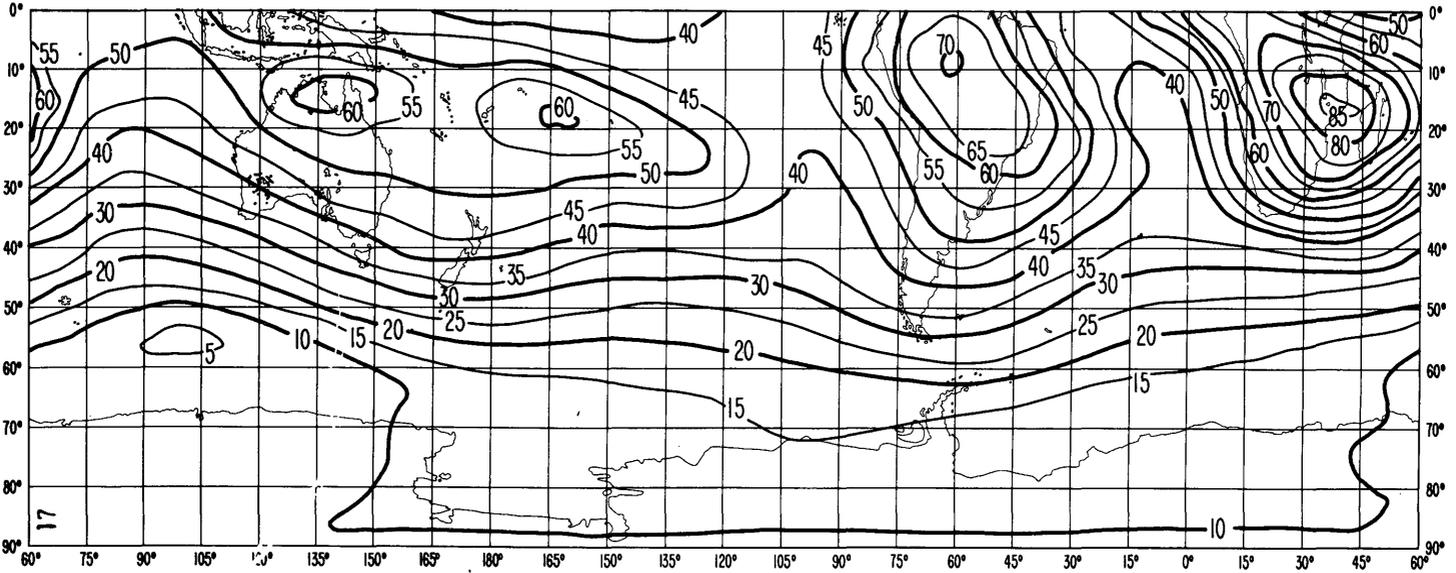
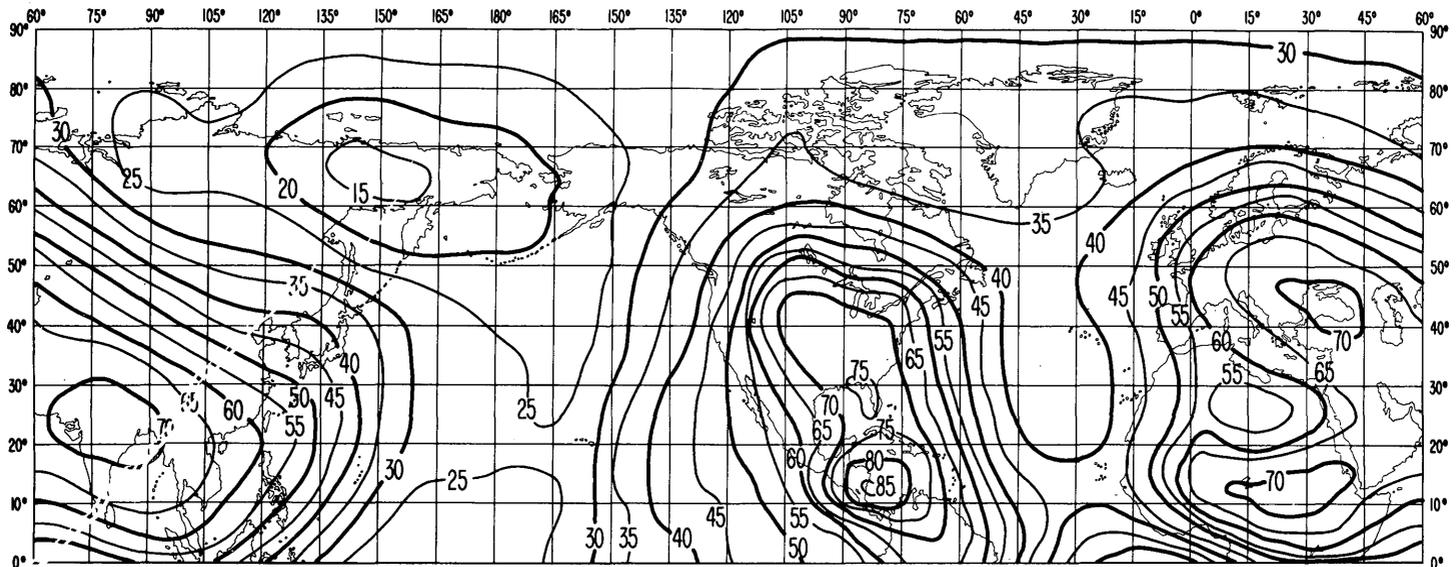


FIGURE 17a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Eté; 1200-1600 h)

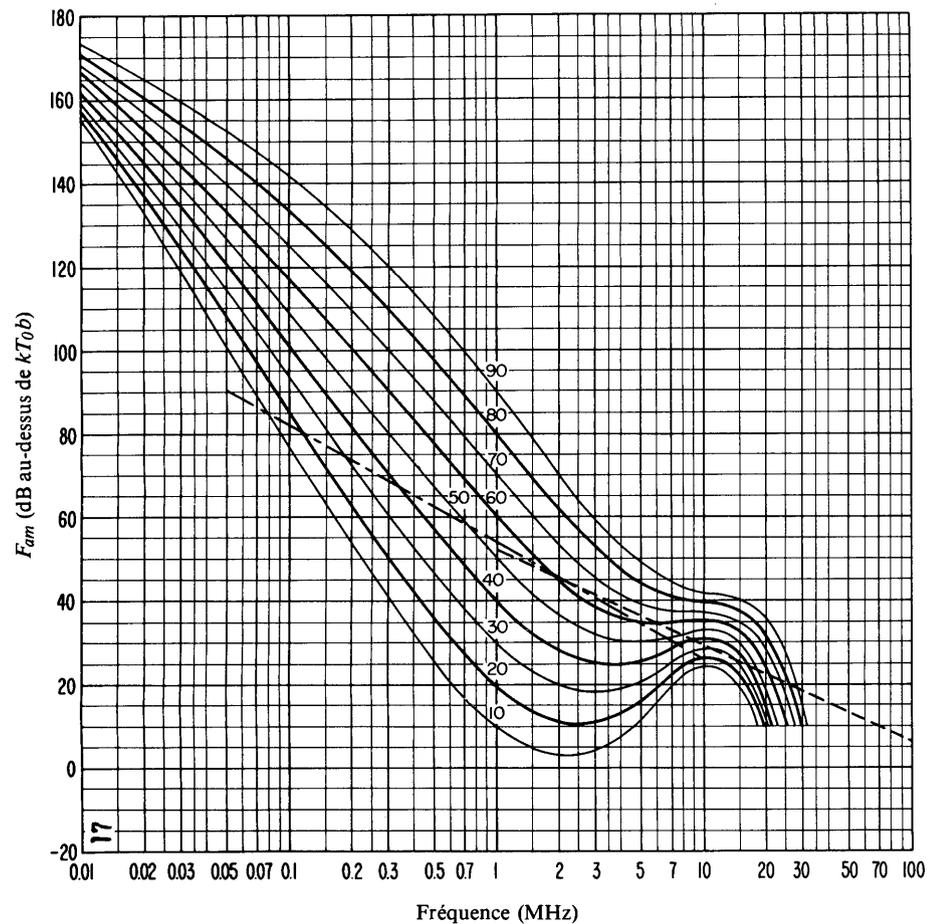


FIGURE 17b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Eté; 1200-1600 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

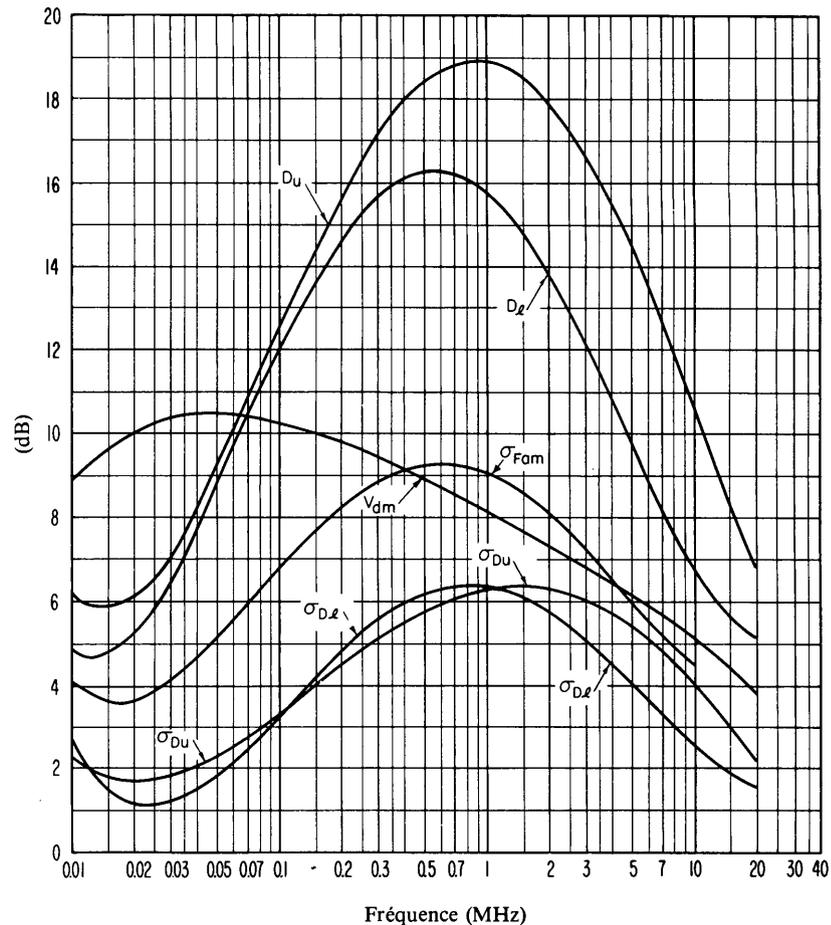


FIGURE 17c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Eté; 1200-1600 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

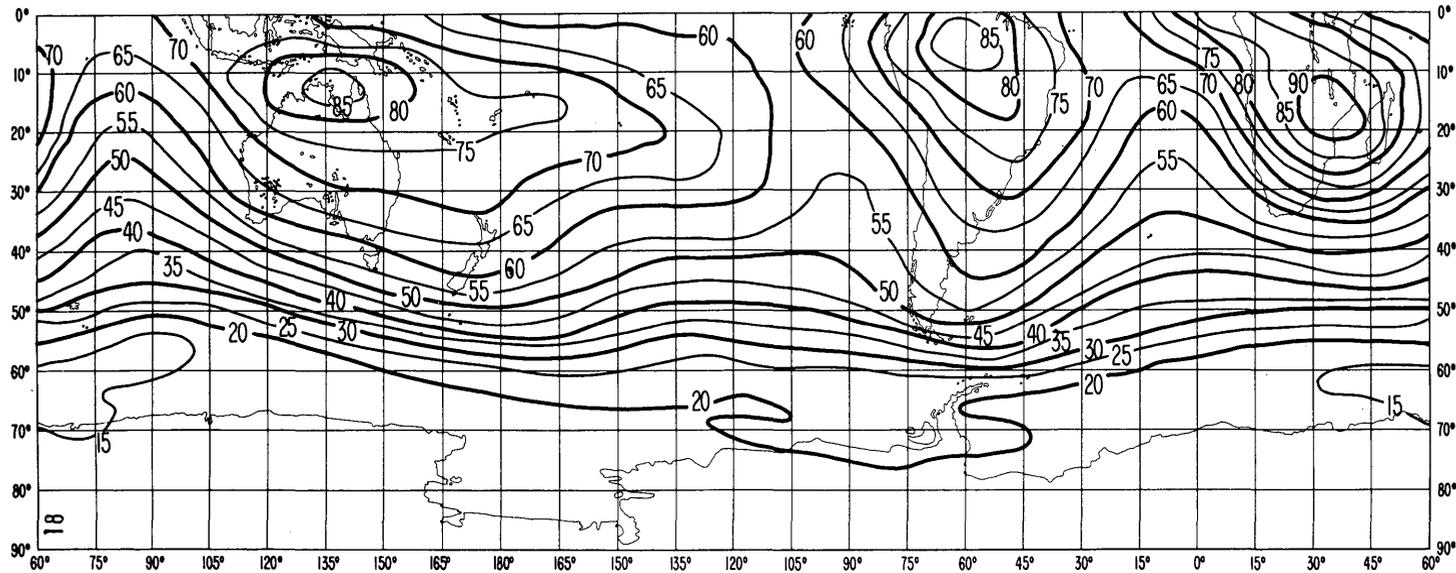
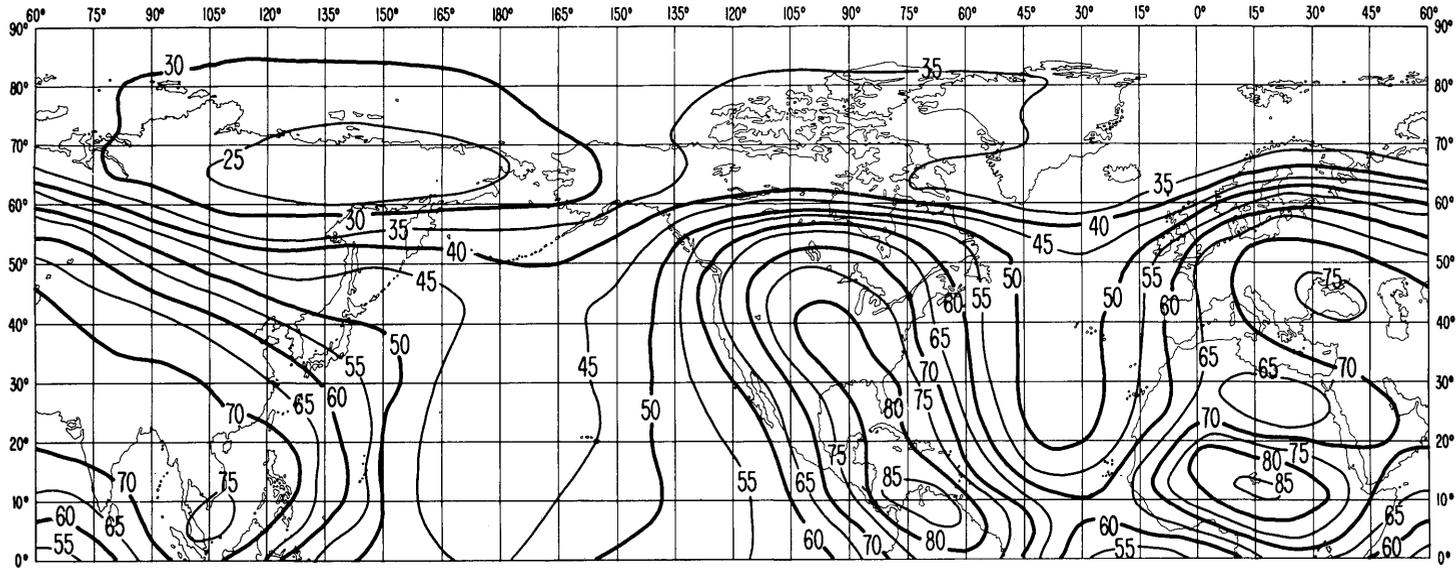


FIGURE 18a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Eté; 1600-2000 h)

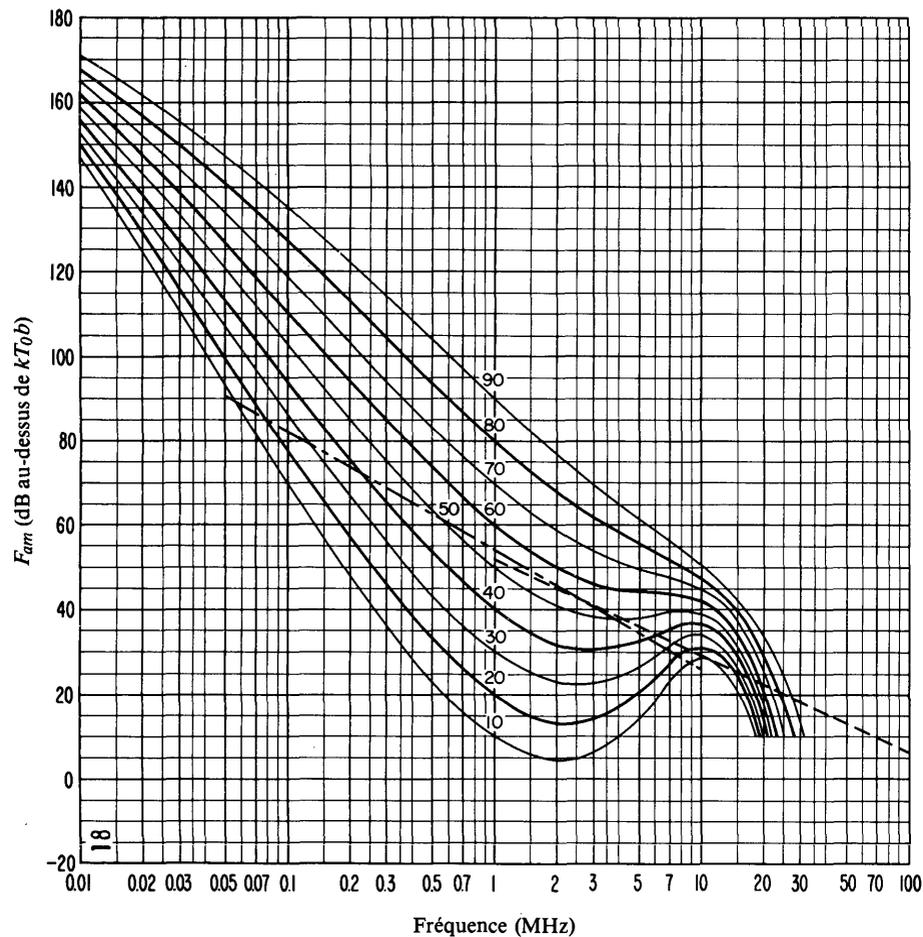


FIGURE 18b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Eté; 1600-2000 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

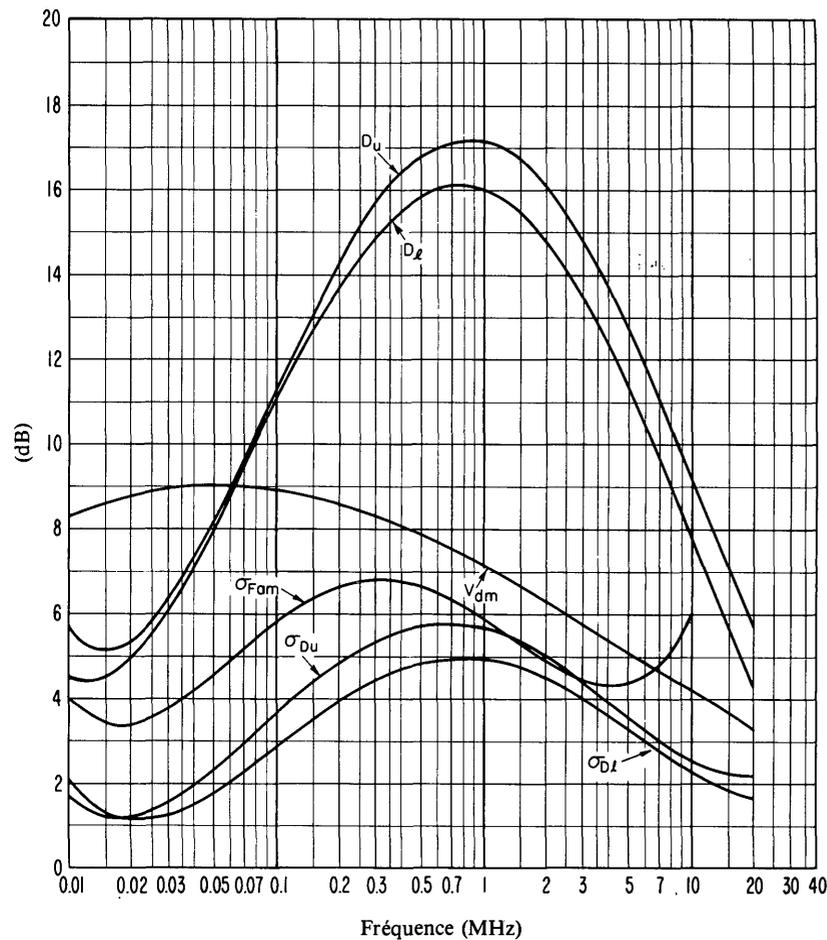


FIGURE 18c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Eté; 1600-2000 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

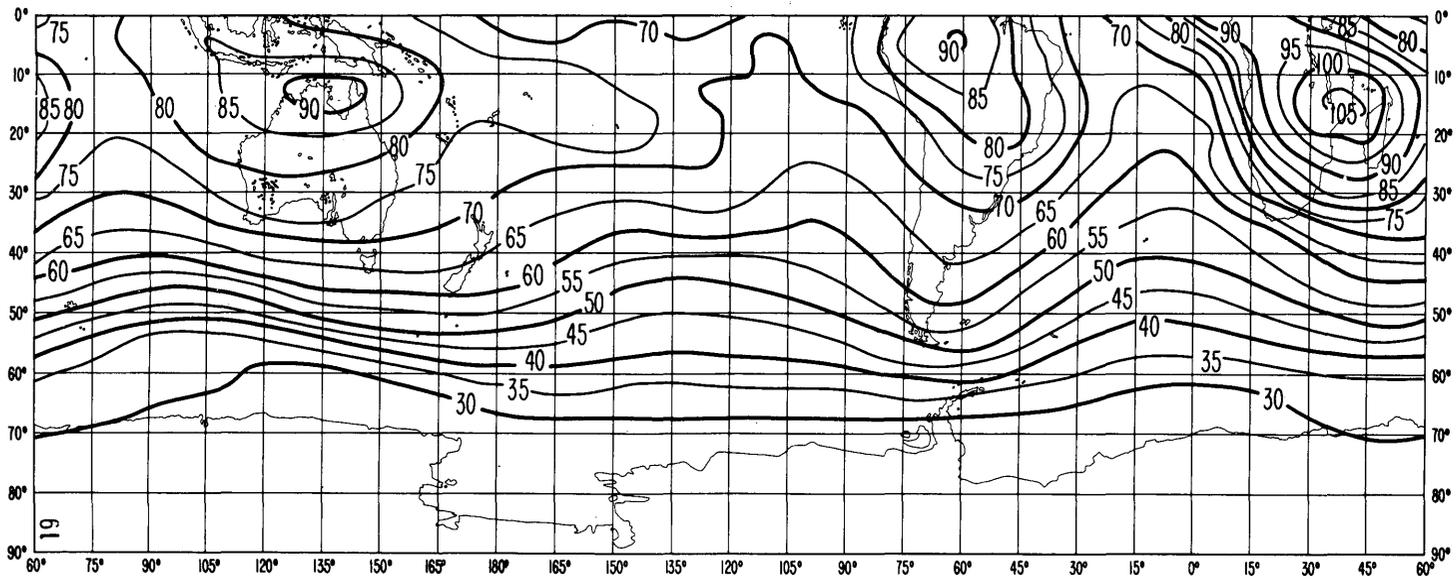
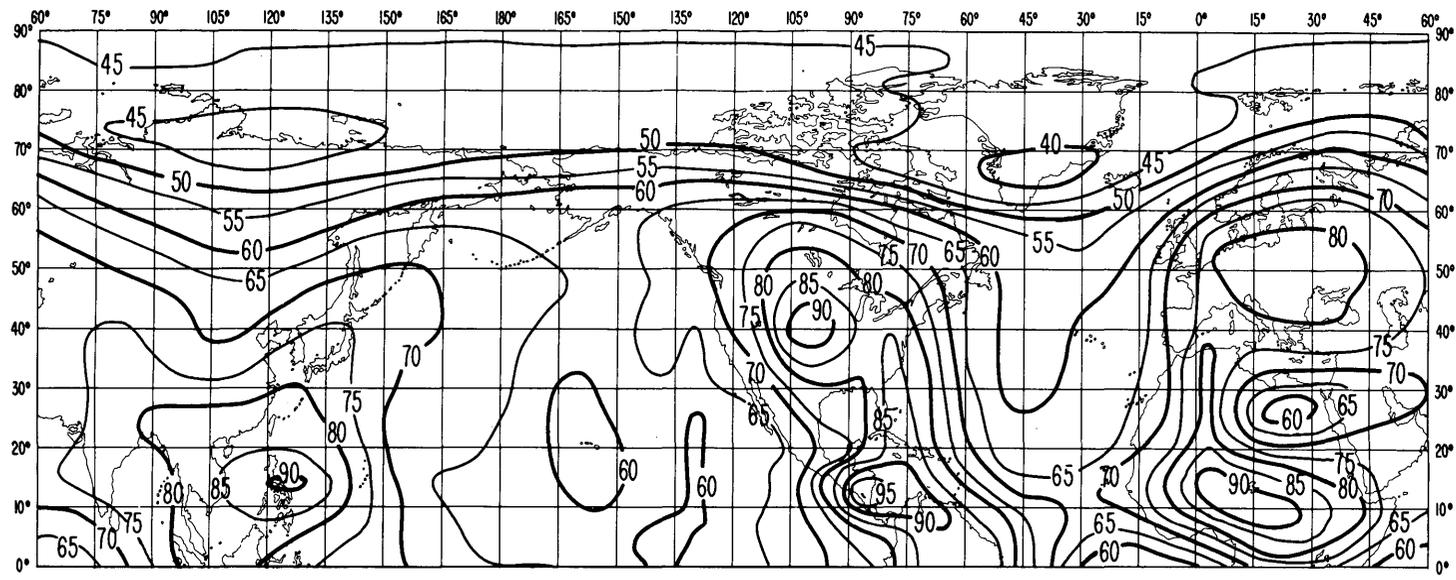


FIGURE 19a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Eté; 2000-2400 h)

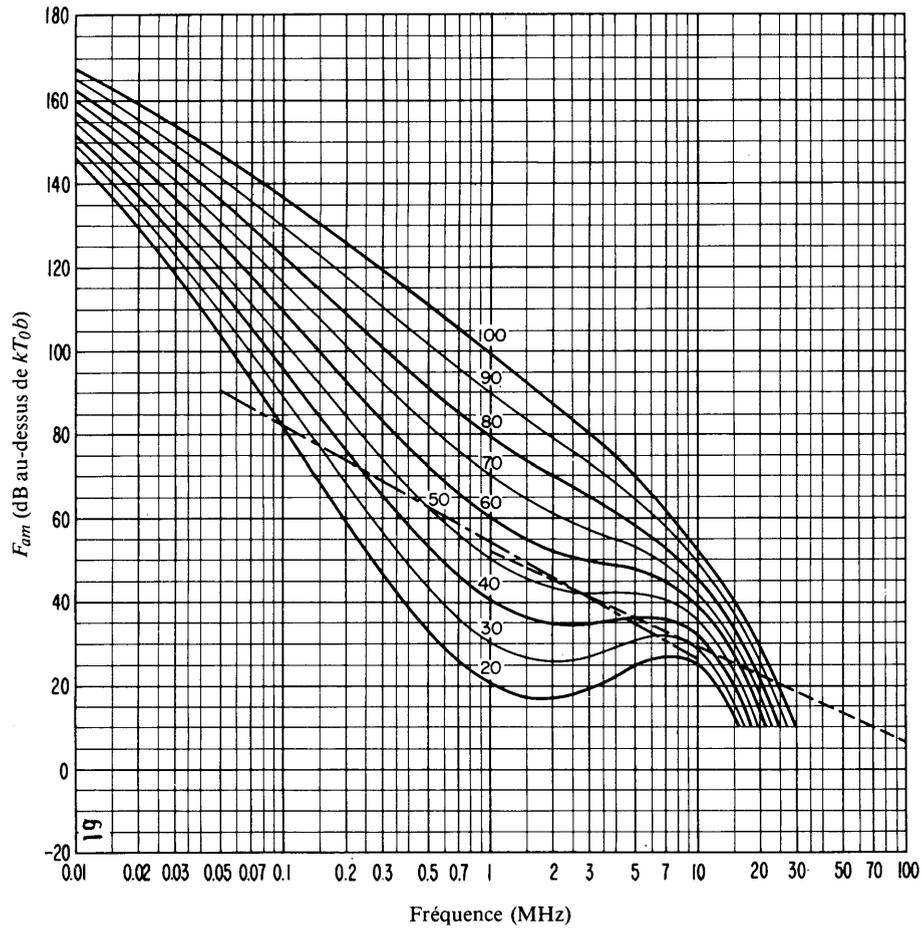


FIGURE 19b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Eté; 2000-2400 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- · - · - Valeurs attendues du bruit galactique

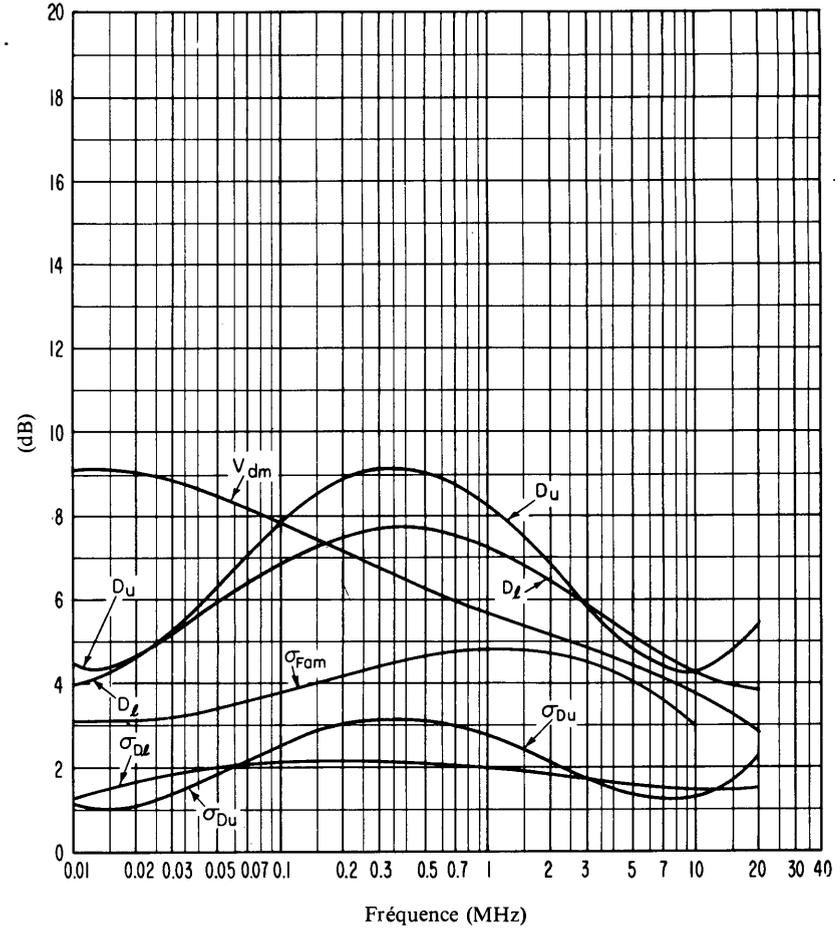


FIGURE 19c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Eté; 2000-2400 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

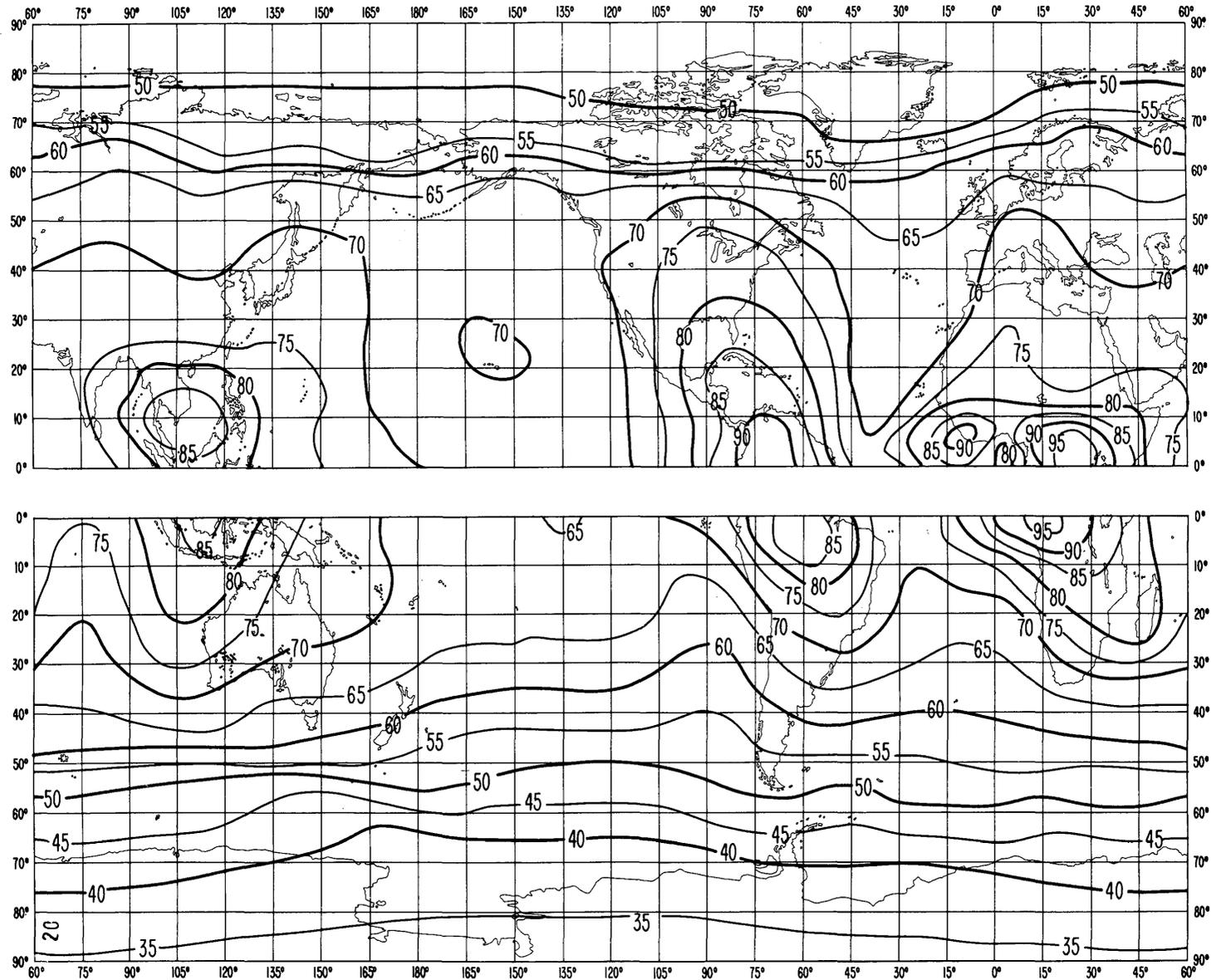


FIGURE 20a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ ,  
 en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz  
 (Automne; 0000-0400 h)

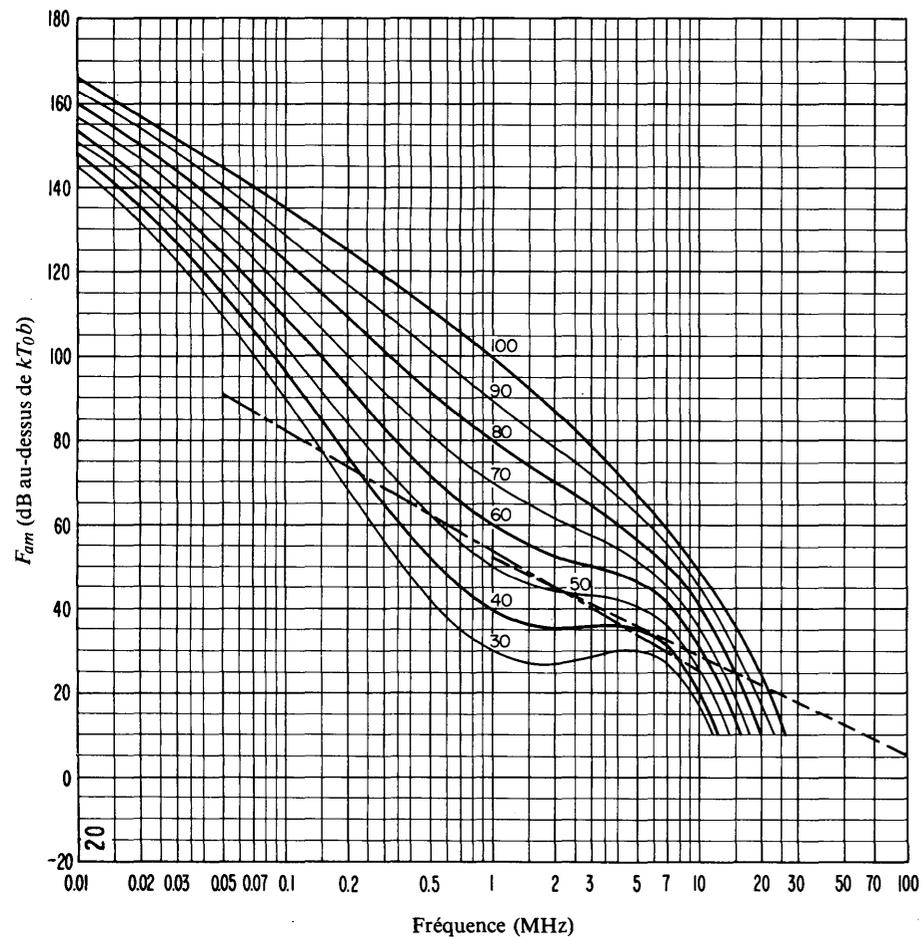


FIGURE 20b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Automne; 0000-0400 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- · - · - Valeurs attendues du bruit galactique

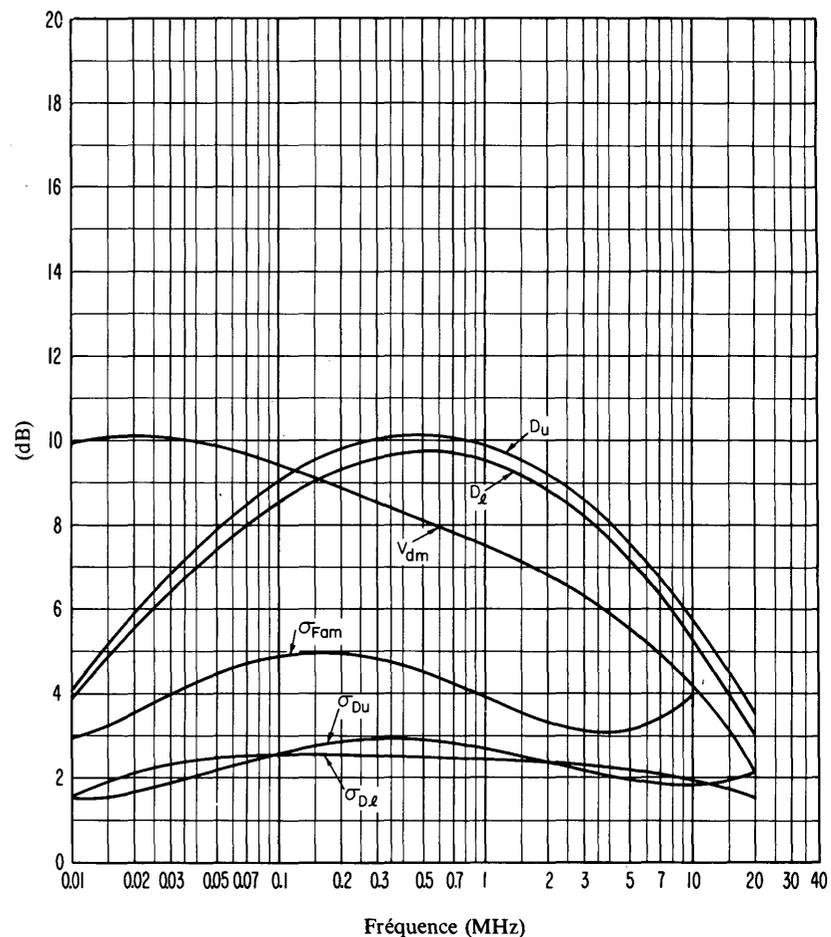


FIGURE 20c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Automne; 0000-0400 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

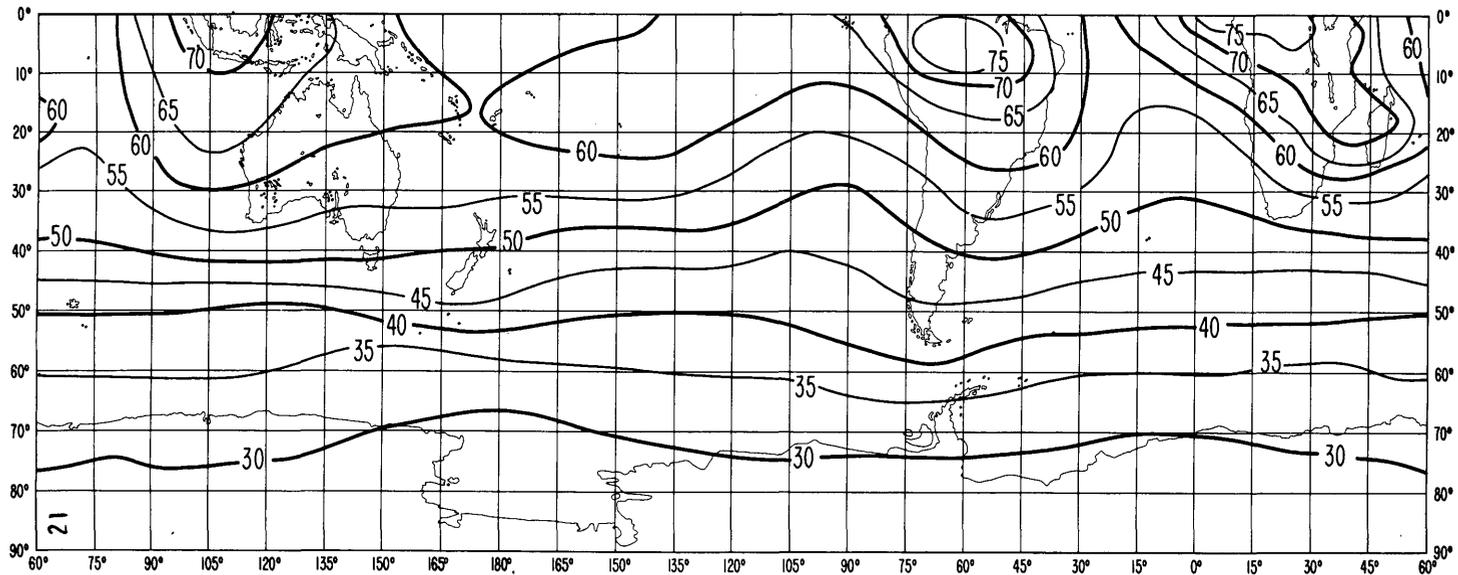
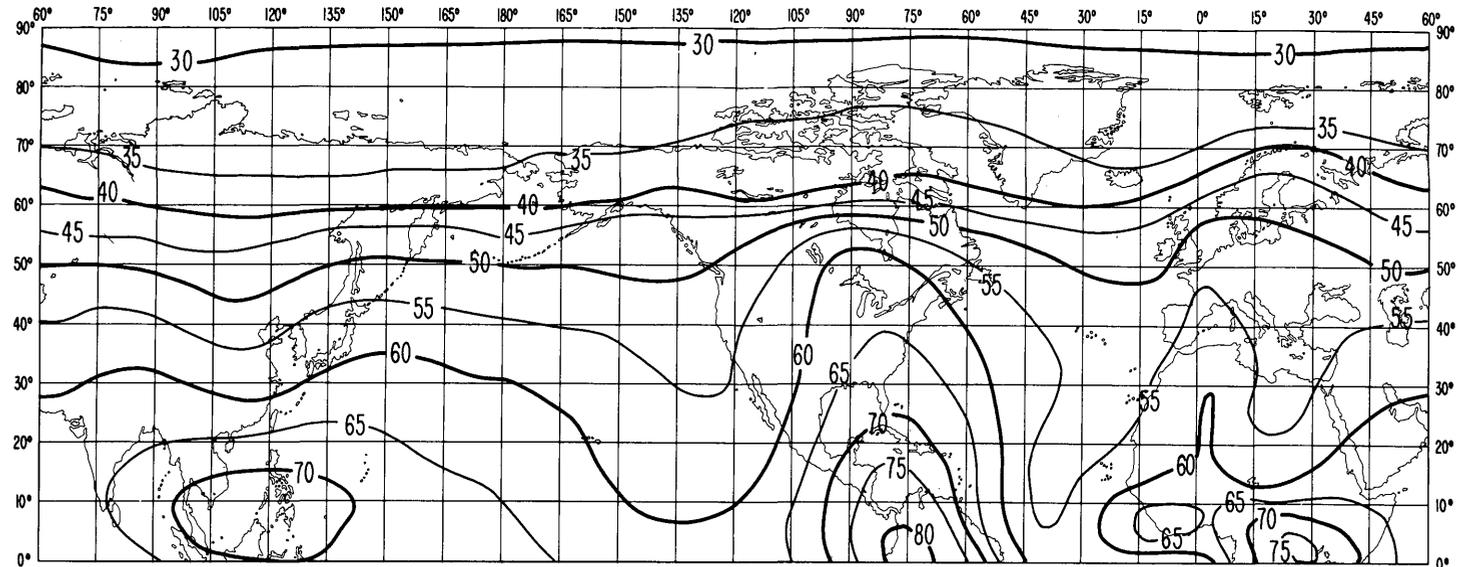


FIGURE 21a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Automne; 0400-0800 h)

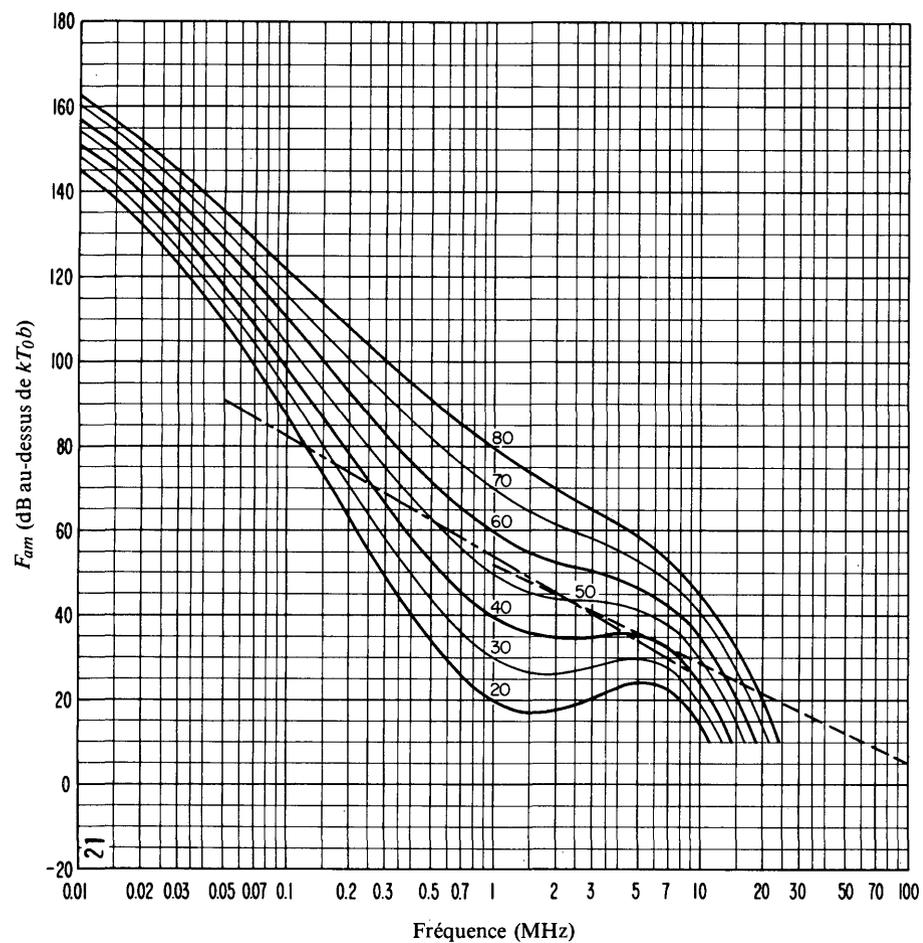


FIGURE 21b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Automne; 0400-0800 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- · - · - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

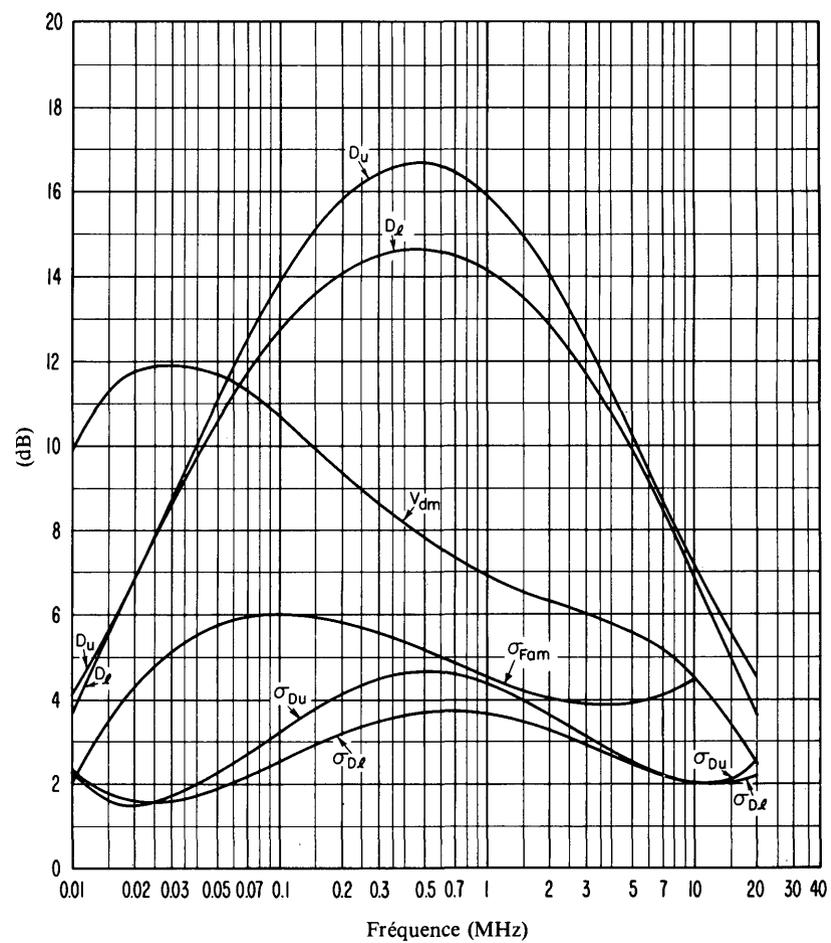


FIGURE 21c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Automne; 0400-0800 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

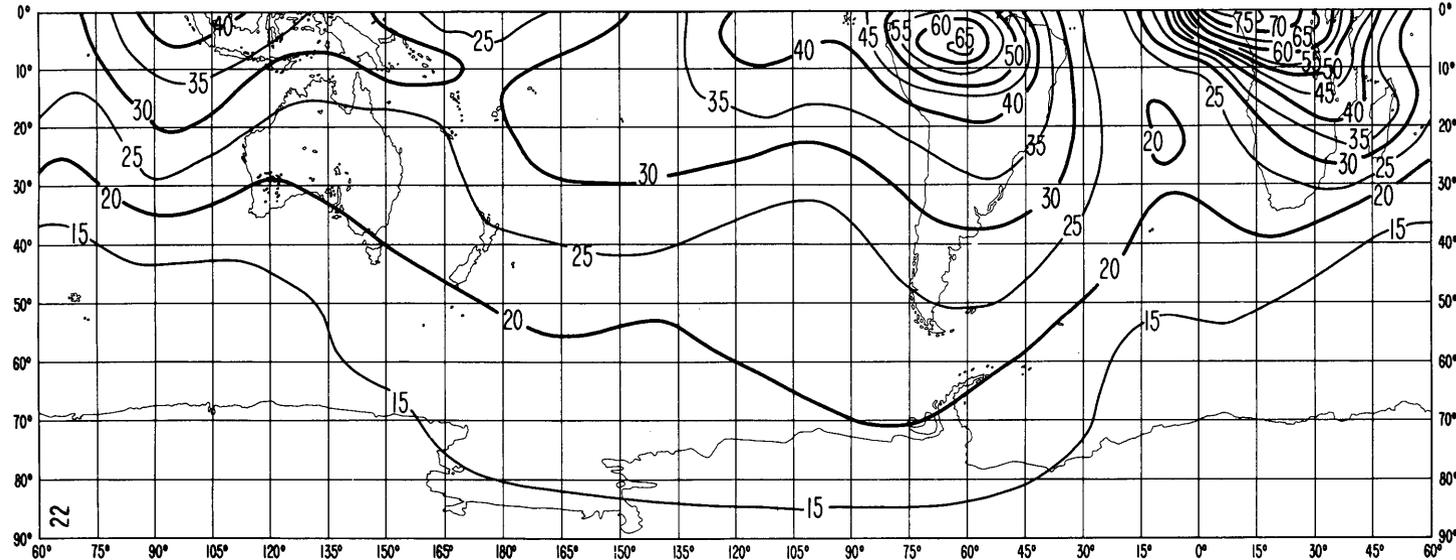
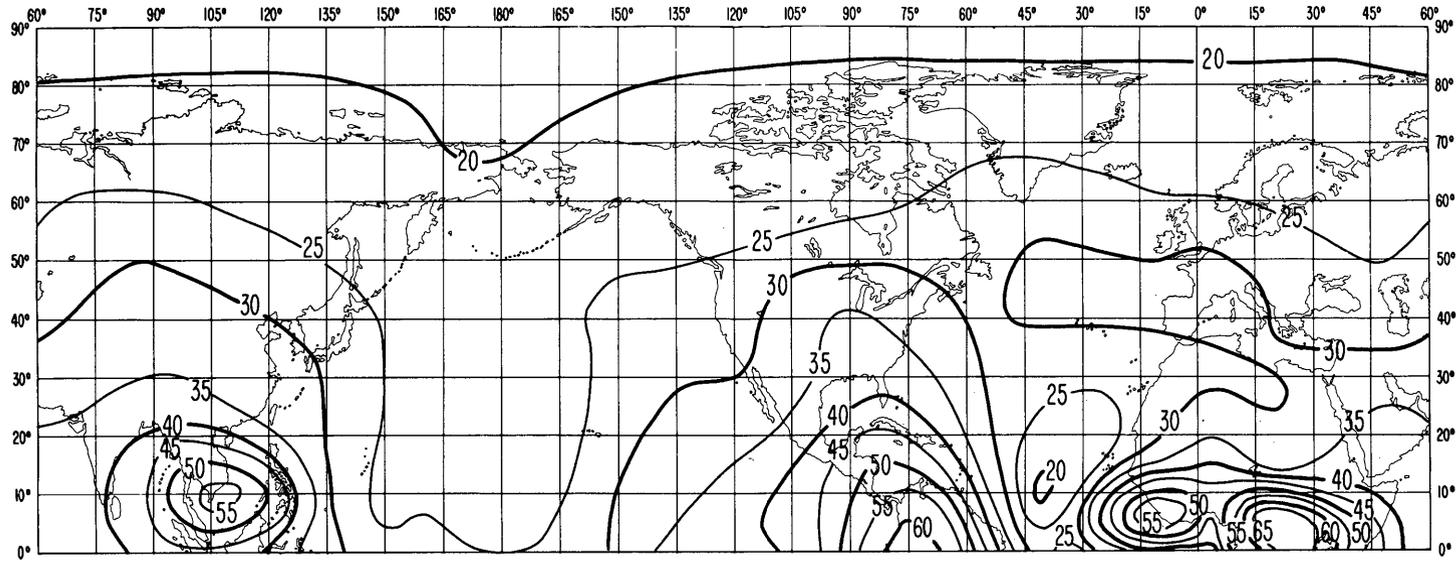


FIGURE 22a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Automne; 0800-1200 h)

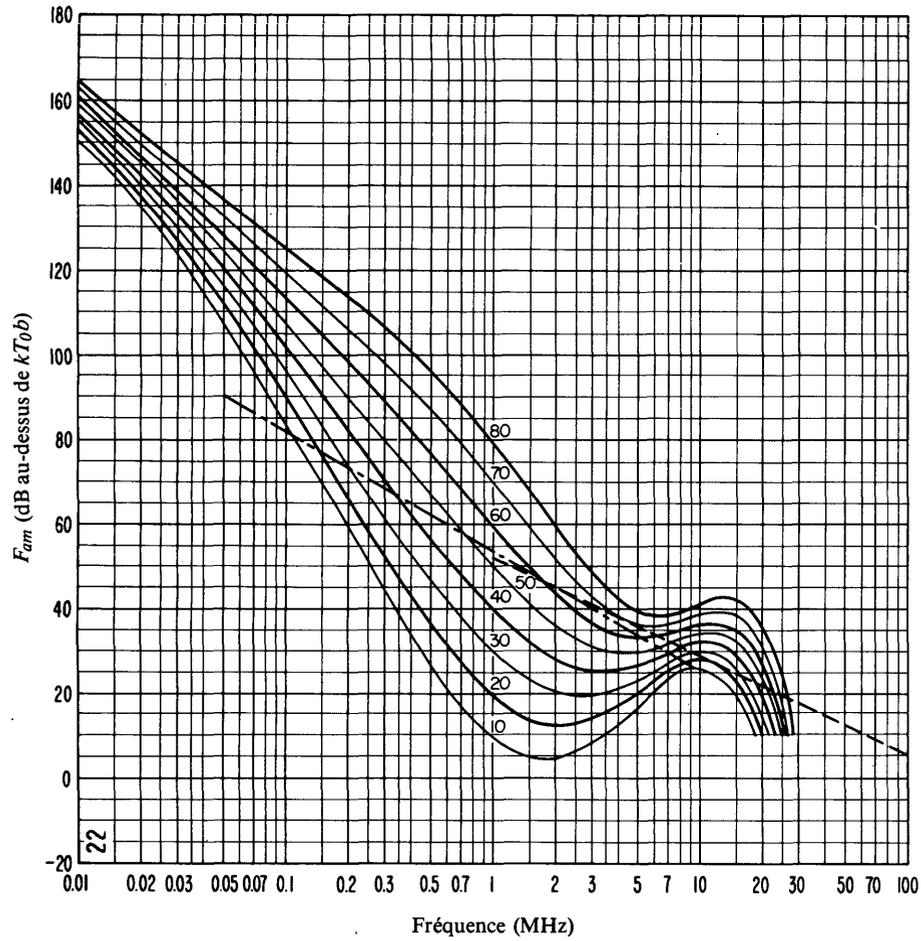


FIGURE 22b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Automne; 0800-1200 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- · - · - · - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- Valeurs attendues du bruit galactique

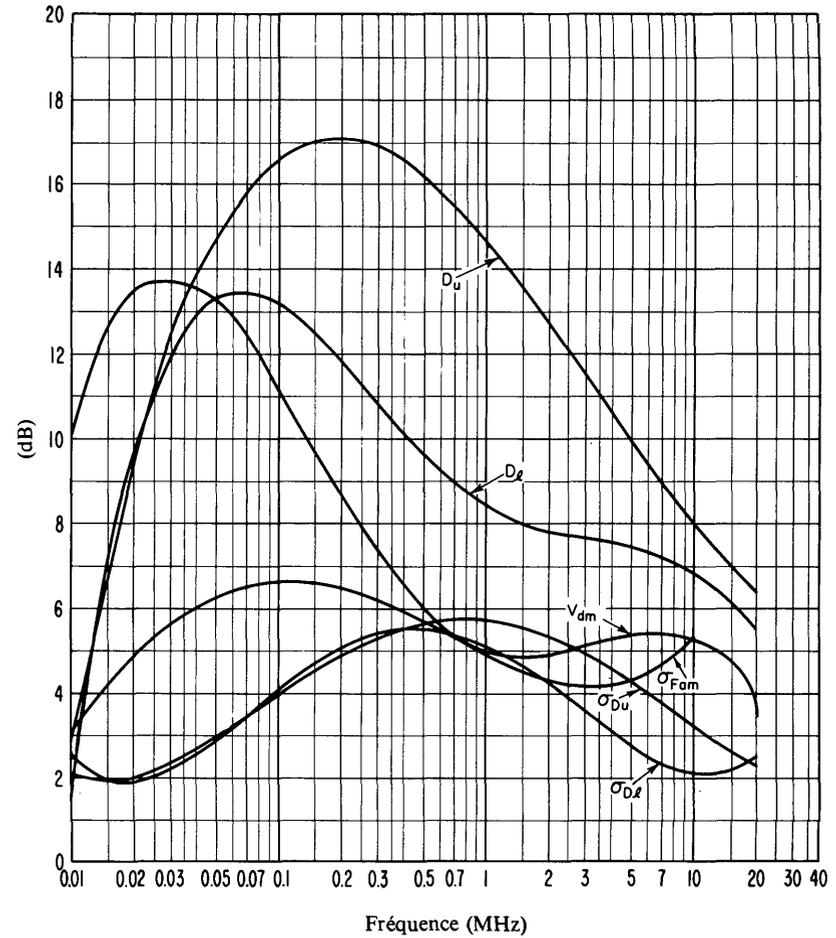


FIGURE 22c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Automne; 0800-1200 h)

- $\sigma_{F_{am}}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

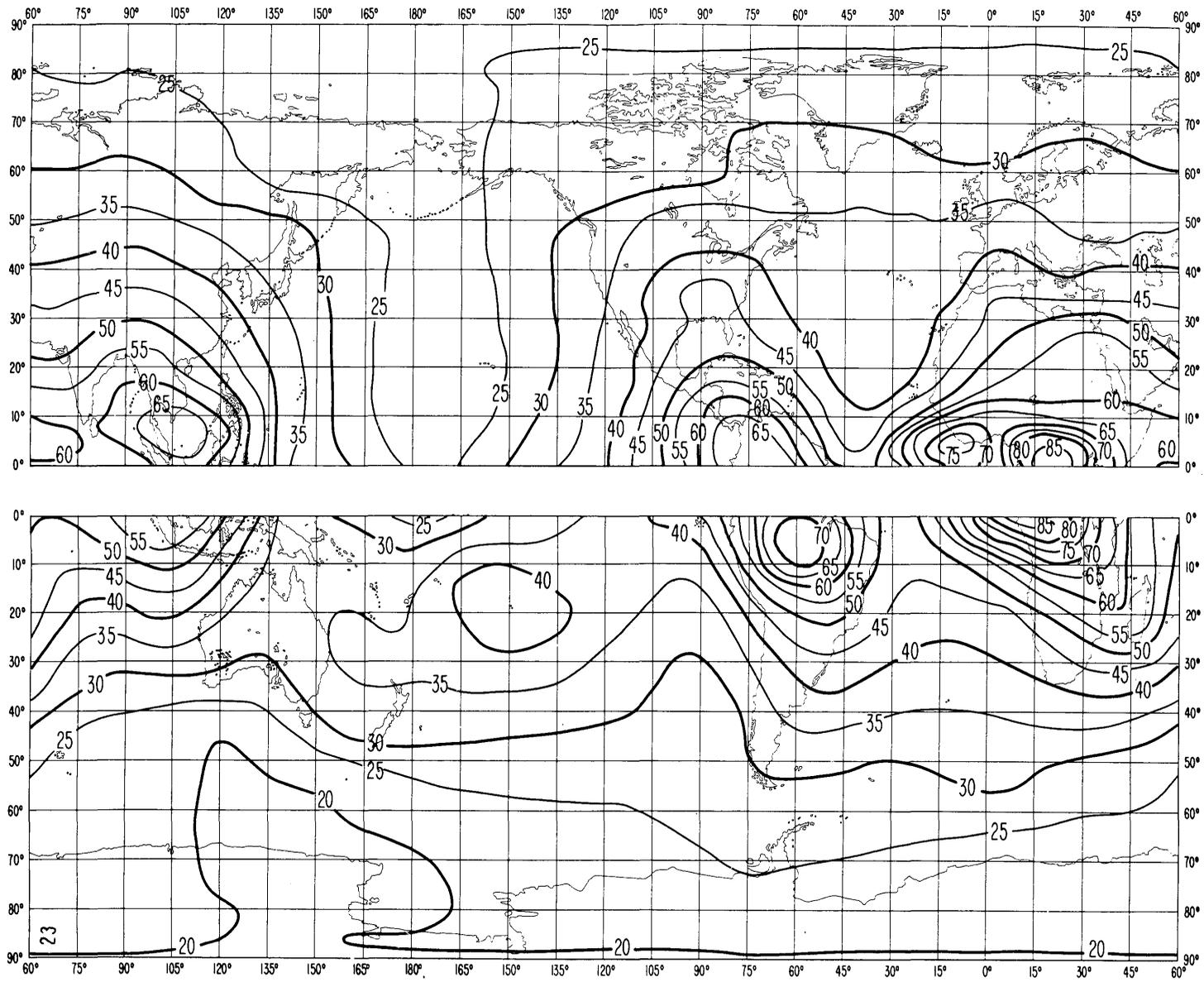


FIGURE 23a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Automne; 1200-1600 h)

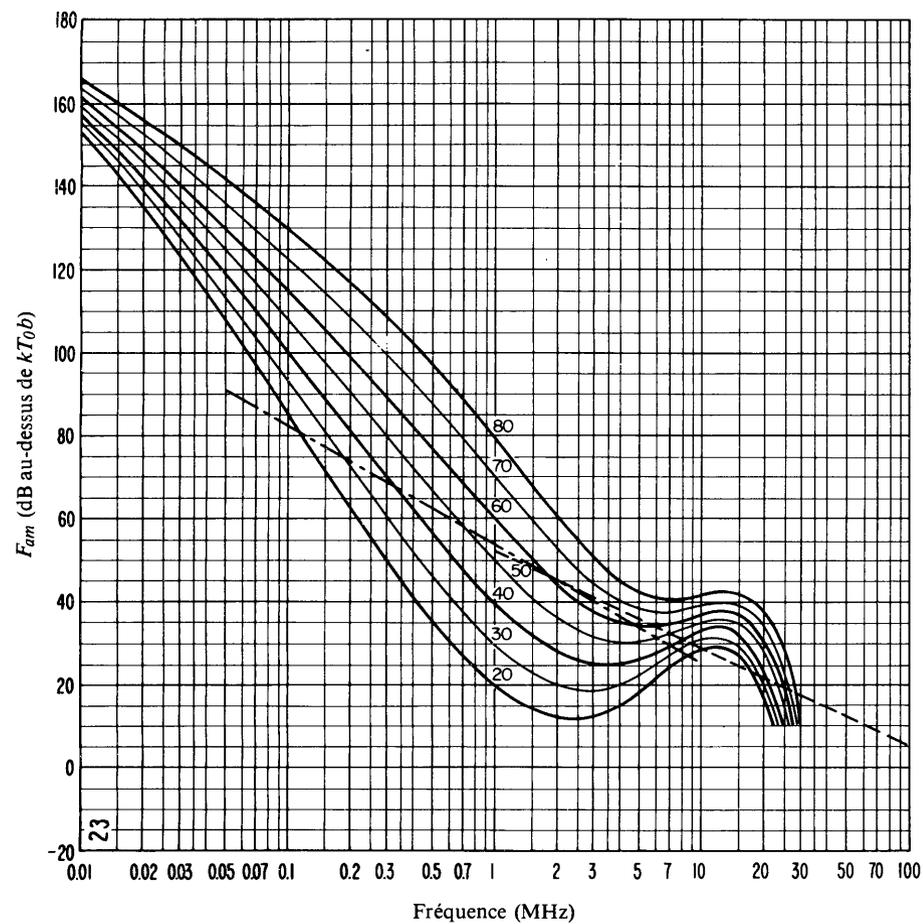


FIGURE 23b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Automne; 1200-1600 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- · - · - · Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

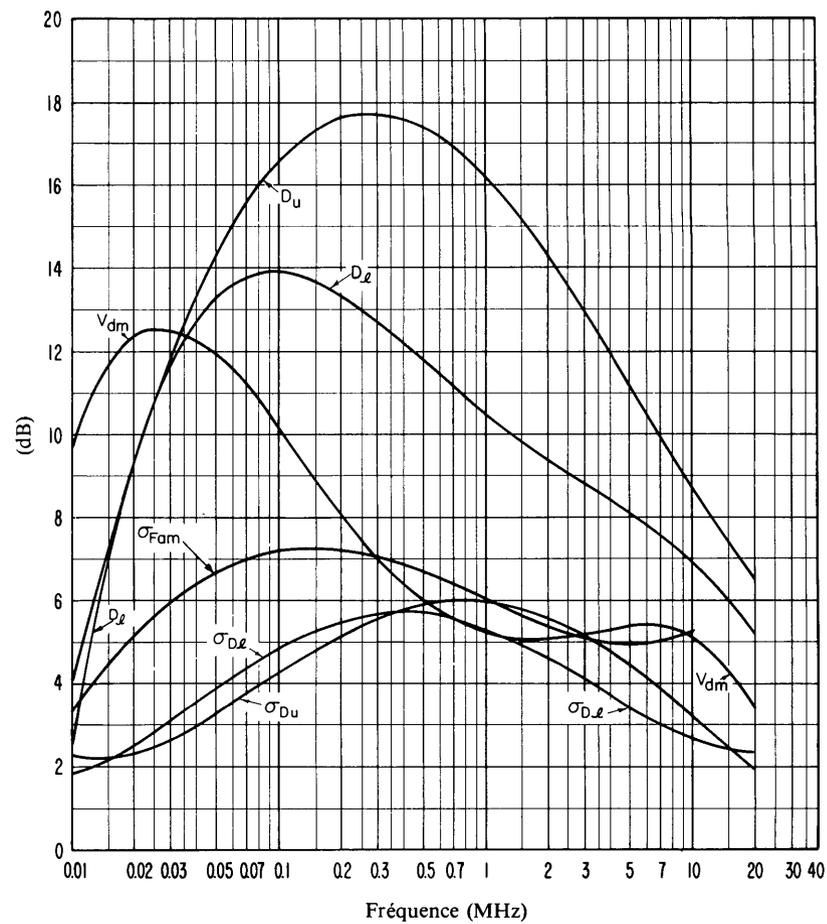


FIGURE 23c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Automne; 1200-1600 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{Du}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{Dl}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

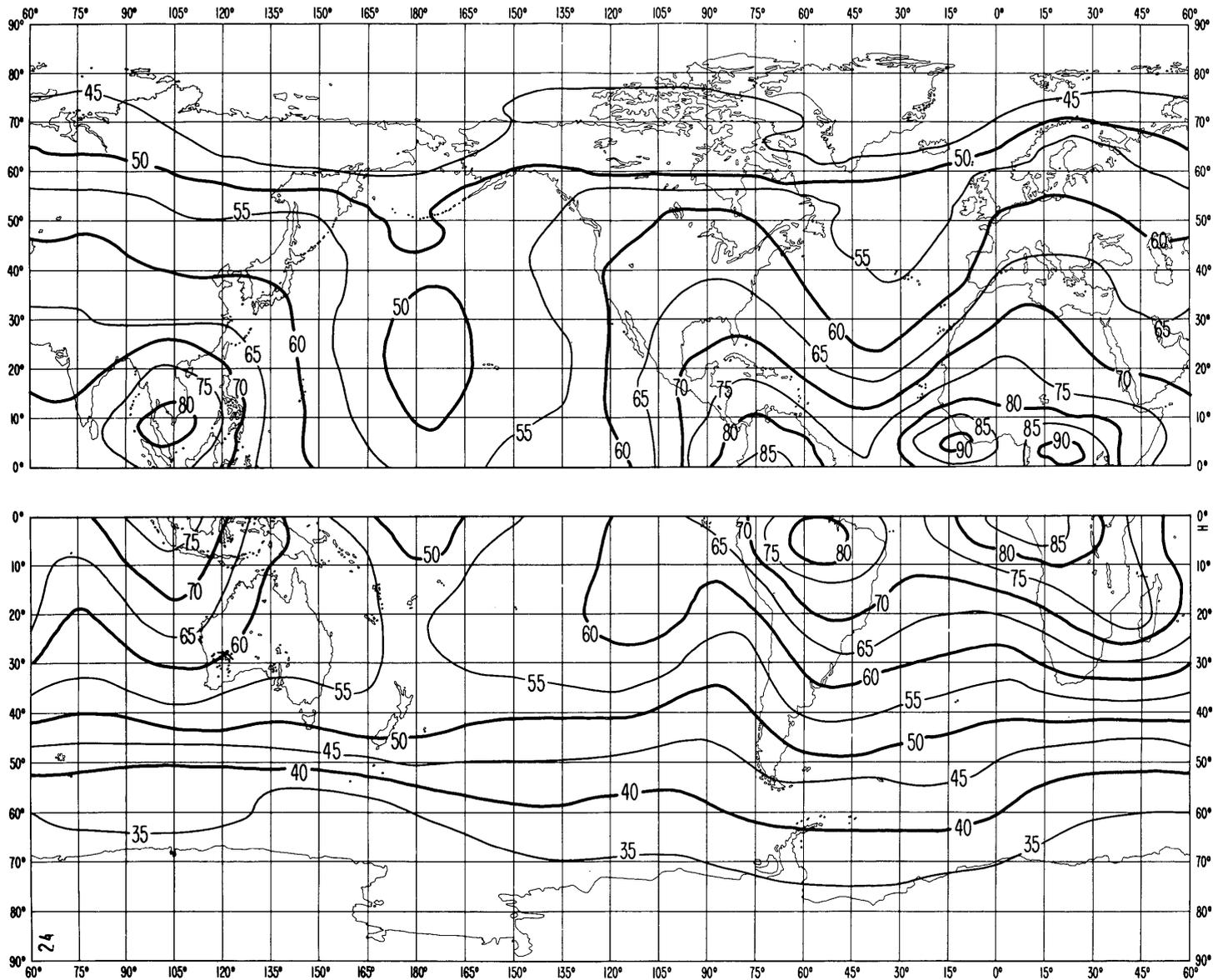


FIGURE 24a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_{0b}$  sur la fréquence 1 MHz (Automne; 1600-2000 h)

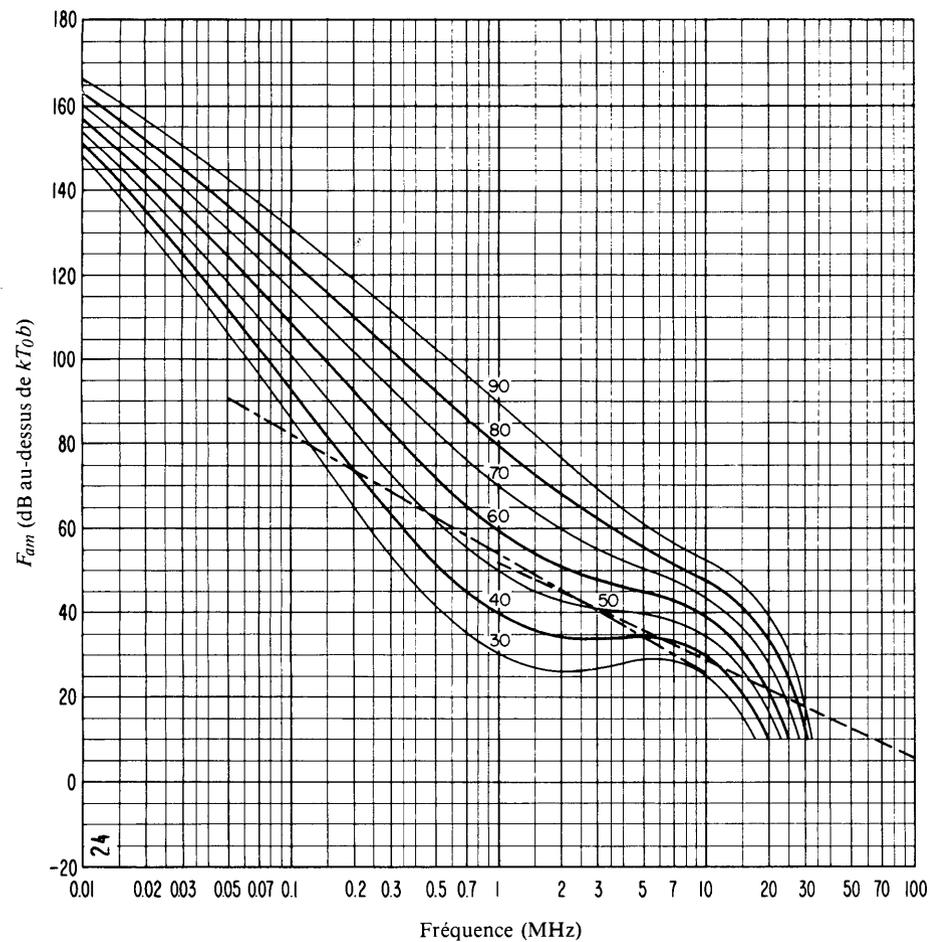


FIGURE 24b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Automne; 1600-2000 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- - - - - Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- · - · - Valeurs attendues du bruit galactique

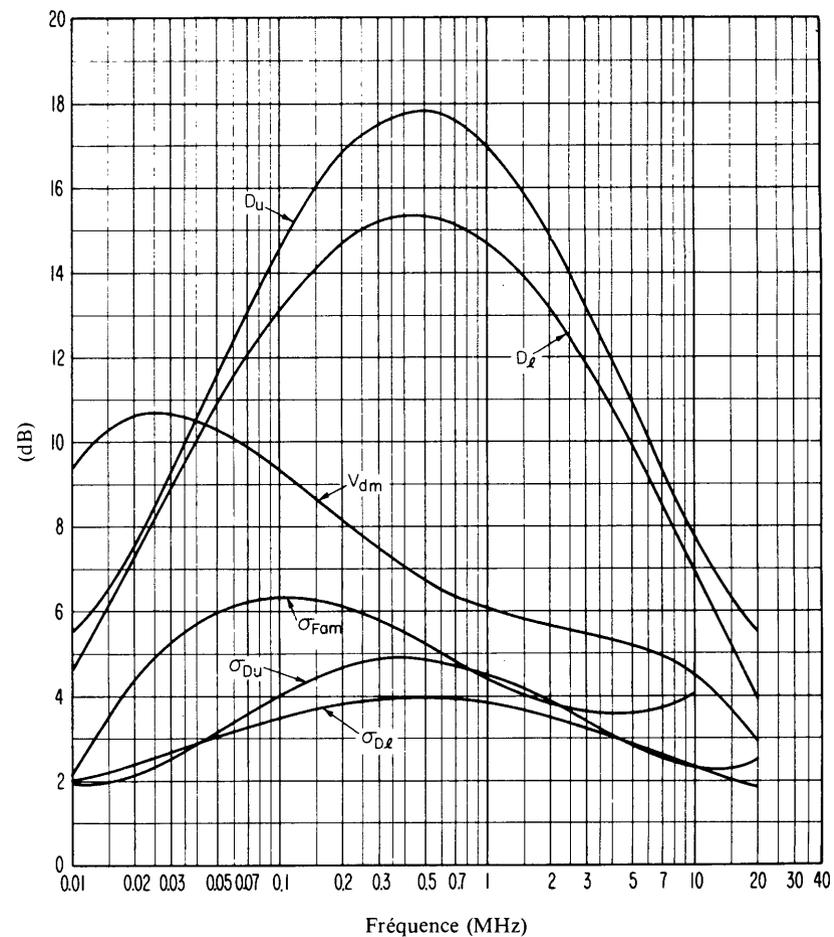


FIGURE 24c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Automne; 1600-2000 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

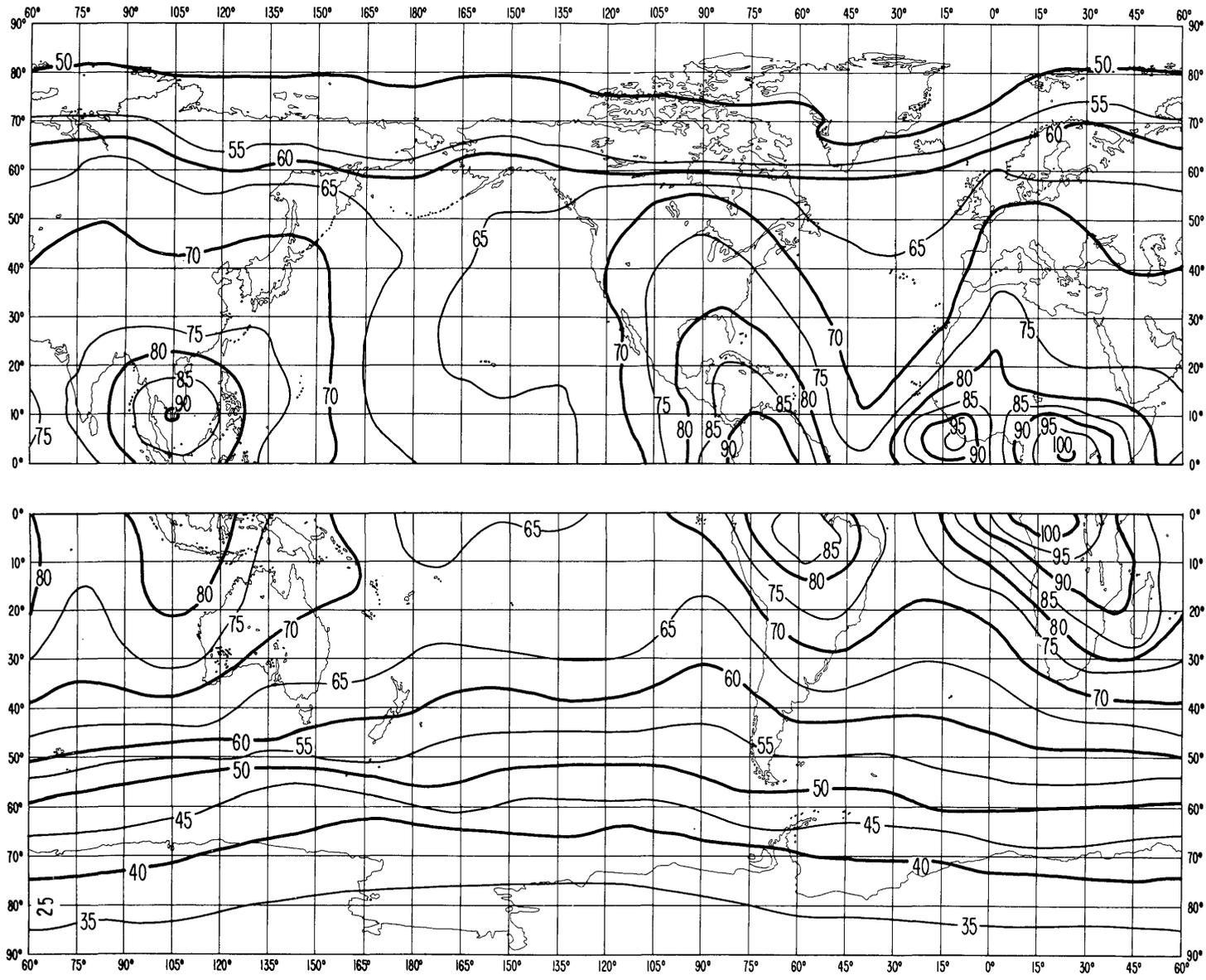


FIGURE 25a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$ , en dB au-dessus de  $kT_0b$  sur la fréquence 1 MHz (Automne; 2000-2400 h)

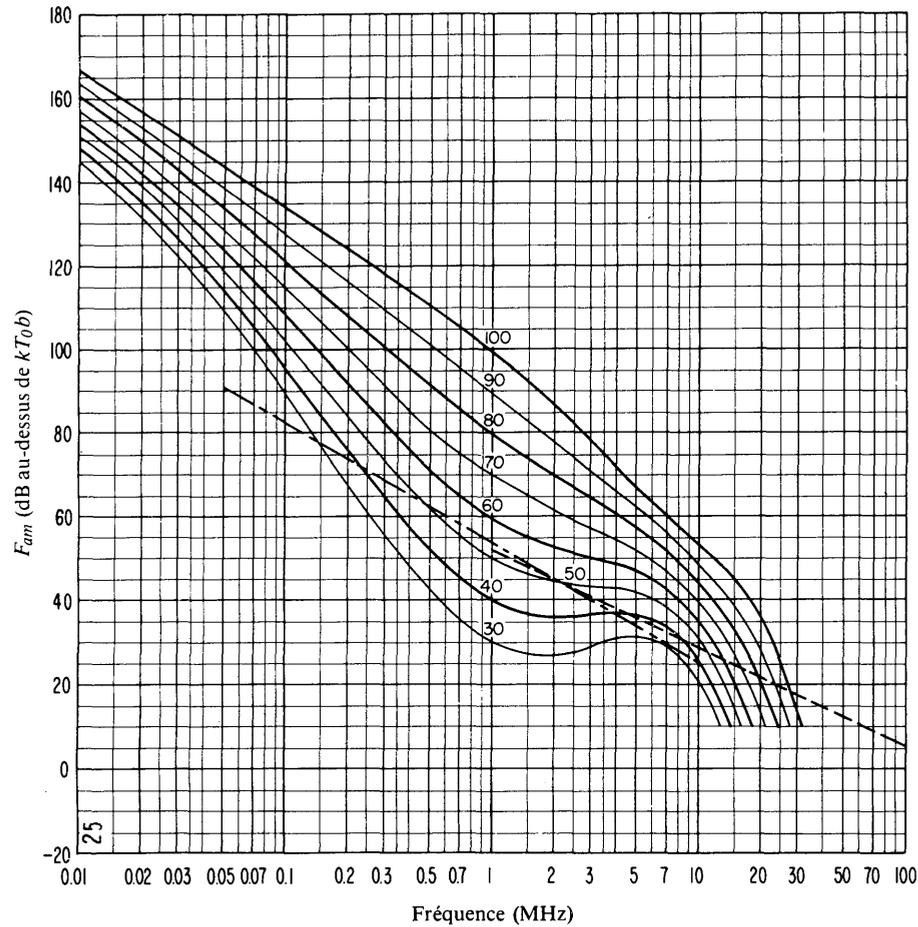


FIGURE 25b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Automne; 2000-2400 h)

- Valeurs attendues du bruit atmosphérique
- . . . . . Valeurs attendues du bruit artificiel en un emplacement de réception calme
- - - - - Valeurs attendues du bruit galactique

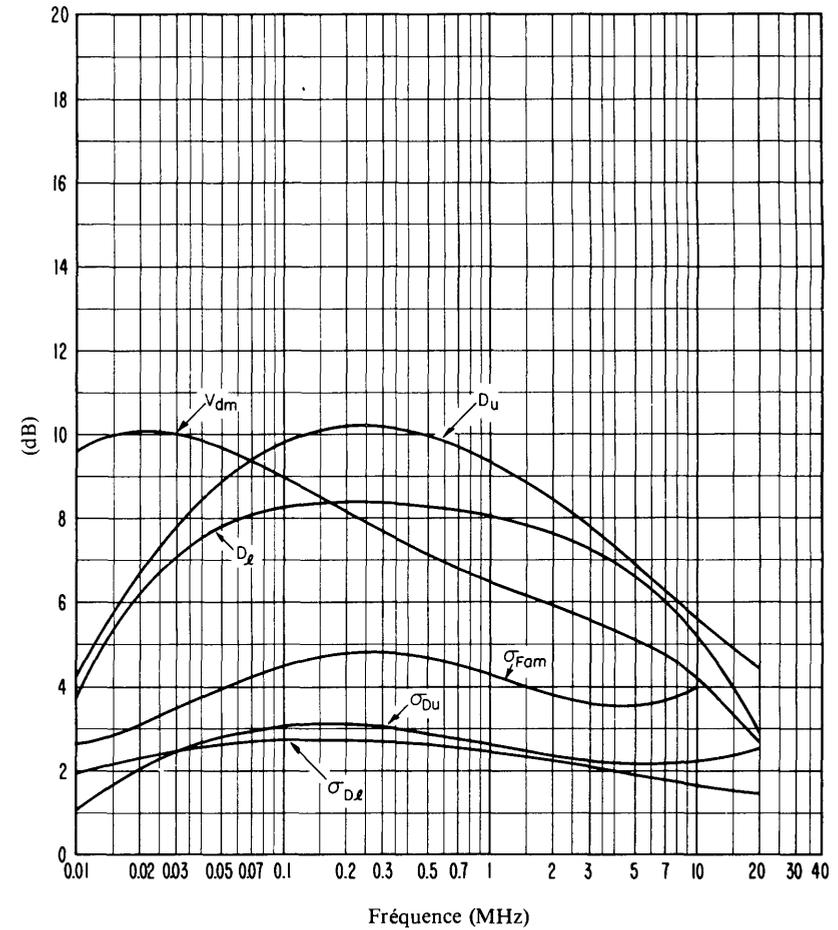


FIGURE 25c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Automne; 2000-2400 h)

- $\sigma_{Fam}$  : Ecart type des valeurs de  $F_{am}$
- $D_u$  : Rapport du décile supérieur à la valeur médiane de  $F_{am}$
- $\sigma_{D_u}$  : Ecart type des valeurs de  $D_u$
- $D_l$  : Rapport de la valeur médiane de  $F_{am}$  au décile inférieur
- $\sigma_{D_l}$  : Ecart type des valeurs de  $D_l$
- $V_{dm}$  : Valeur attendue de l'écart médian de la tension moyenne (valeurs pour une largeur de bande de 200 Hz)

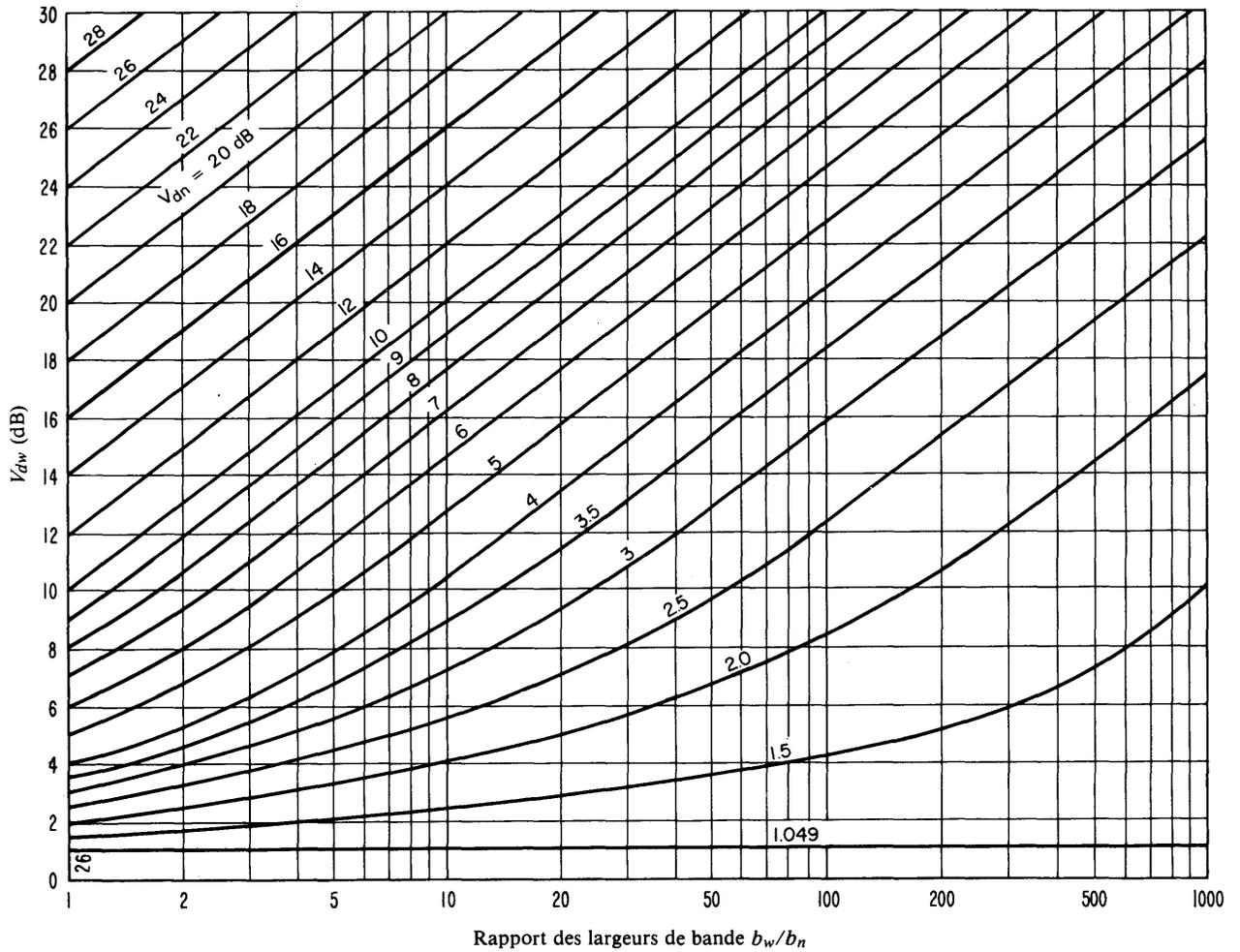


FIGURE 26 – Conversion des valeurs de  $V_d$  valables pour une certaine largeur de bande en valeurs de  $V_d$  valables pour une autre largeur de bande

$b_w$  : largeur de bande la plus grande  
 $b_n$  : largeur de bande la plus étroite

Les valeurs correspondantes de  $V_{dw}$  et de  $V_{dn}$  se lisent sur la ligne correspondant au rapport  $b_w/b_n$  voulu

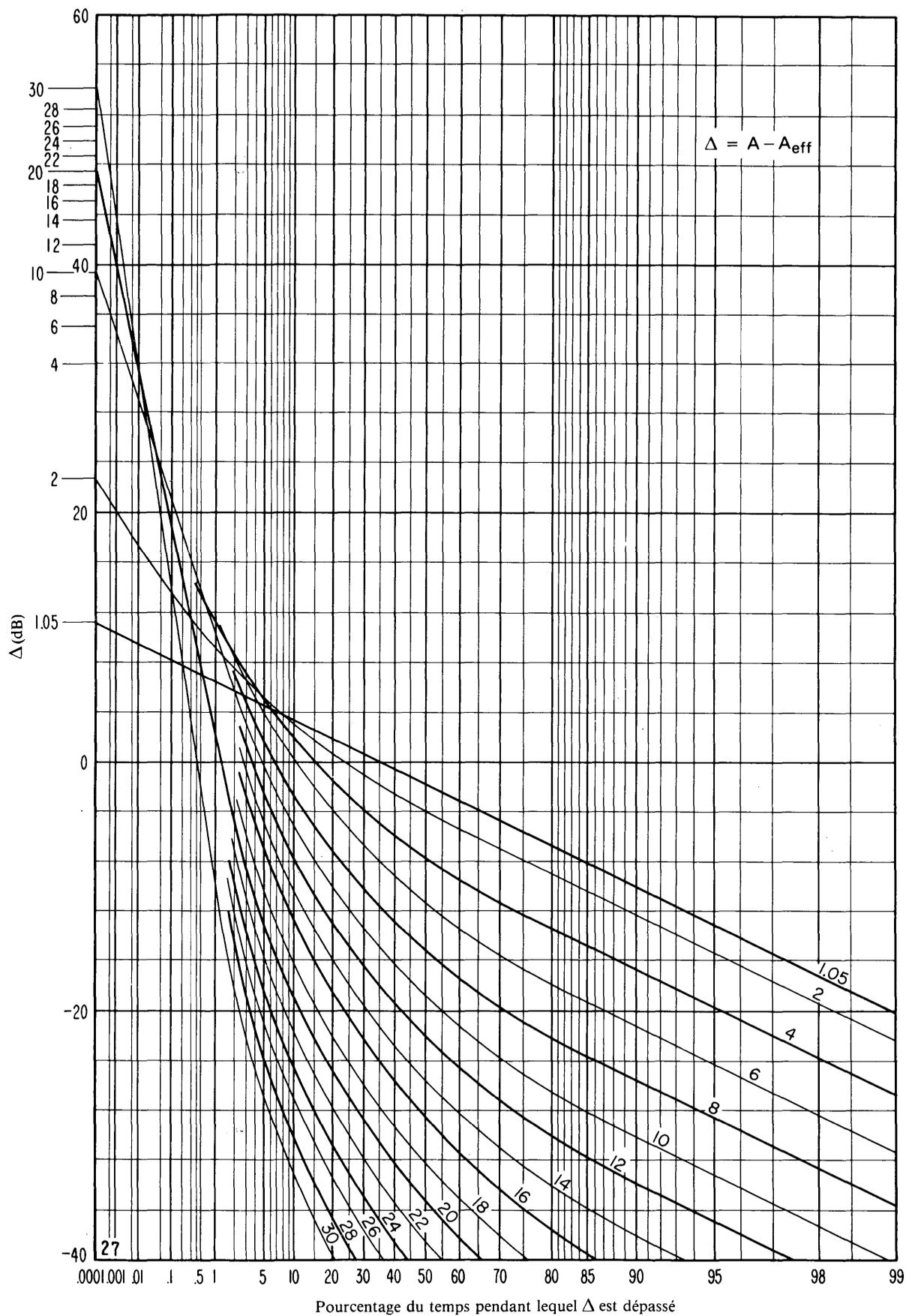
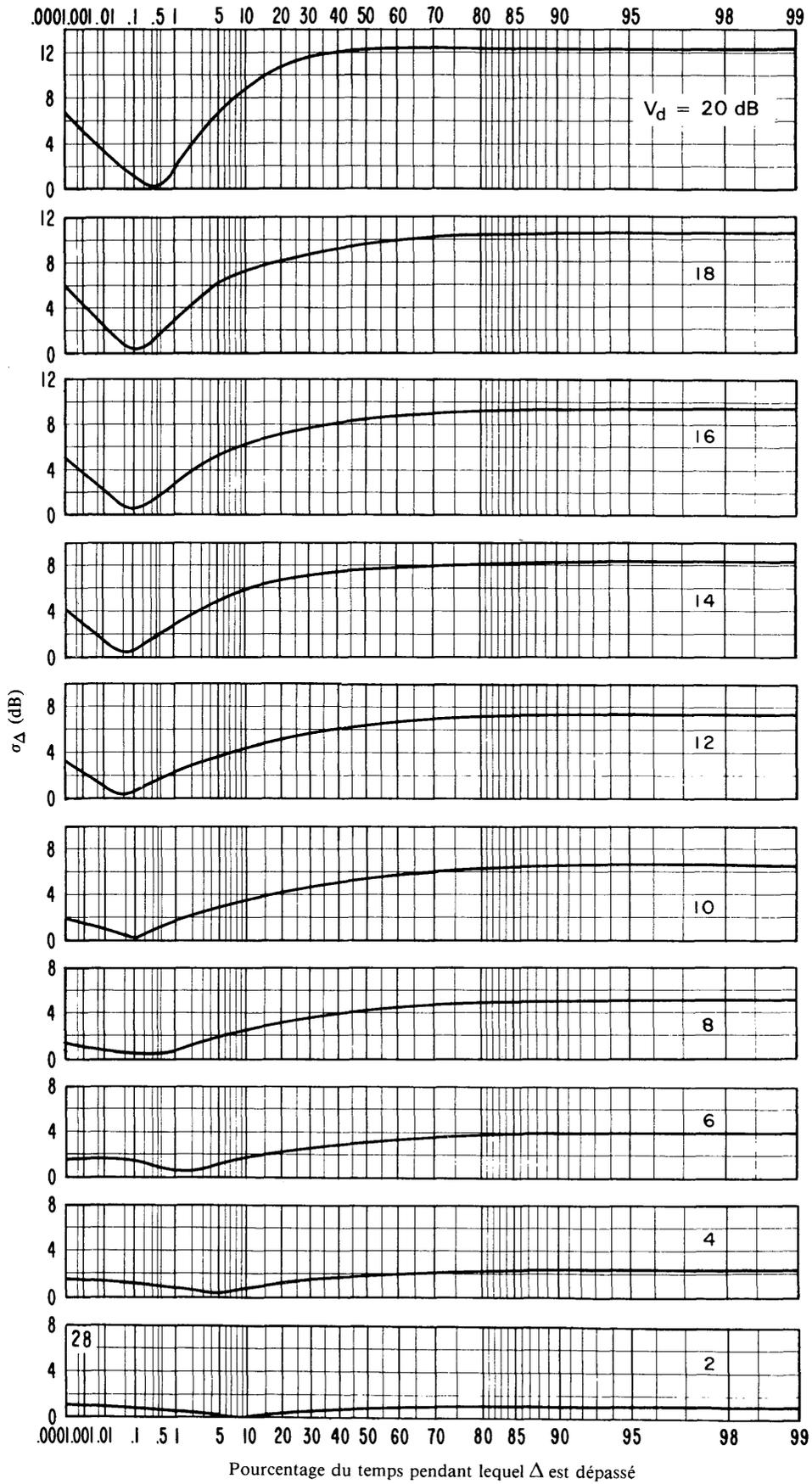


FIGURE 27 – Répartition de probabilité d'amplitude de l'enveloppe du bruit



Pourcentage du temps pendant lequel  $\Delta$  est dépassé

FIGURE 28 - Ecart type  $\sigma$

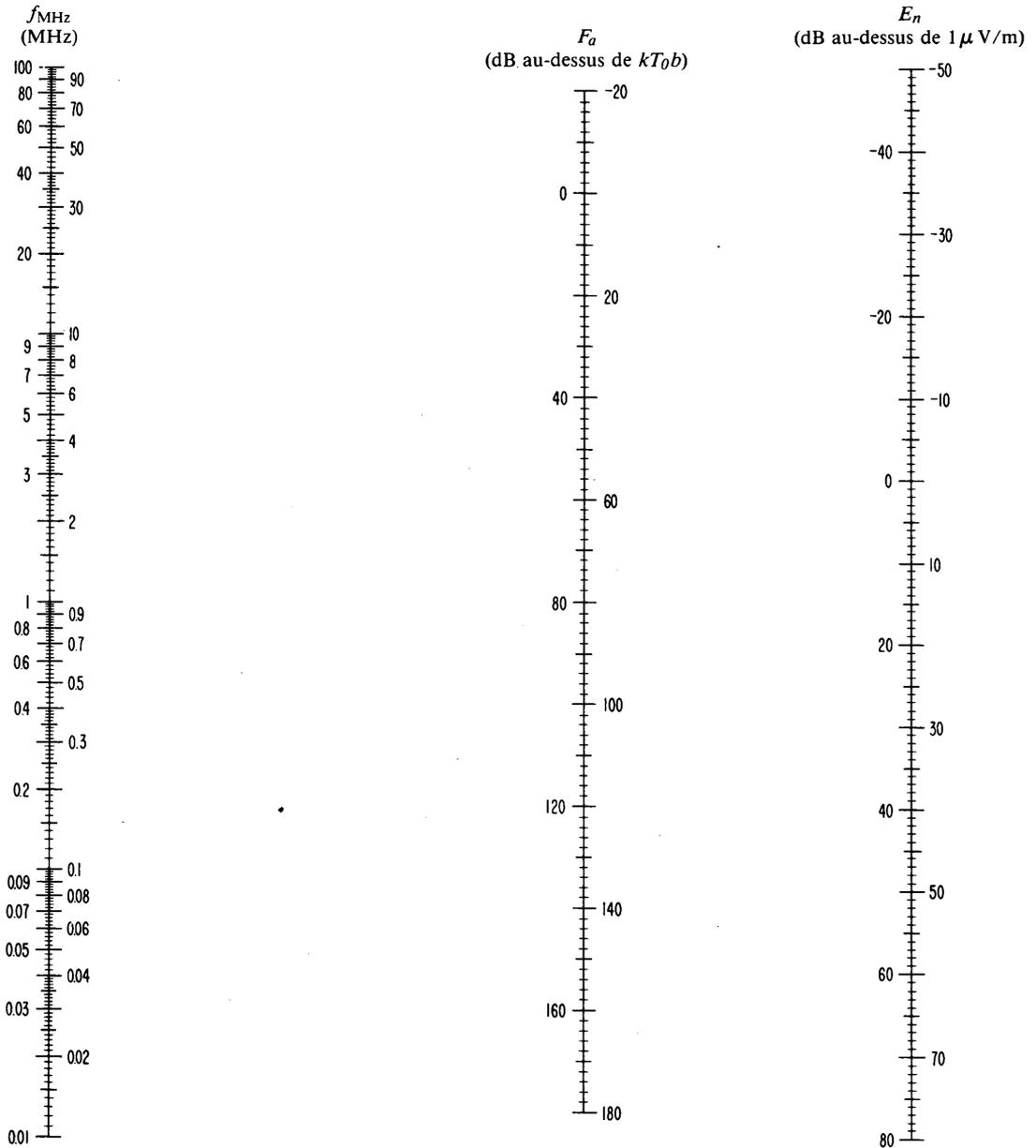
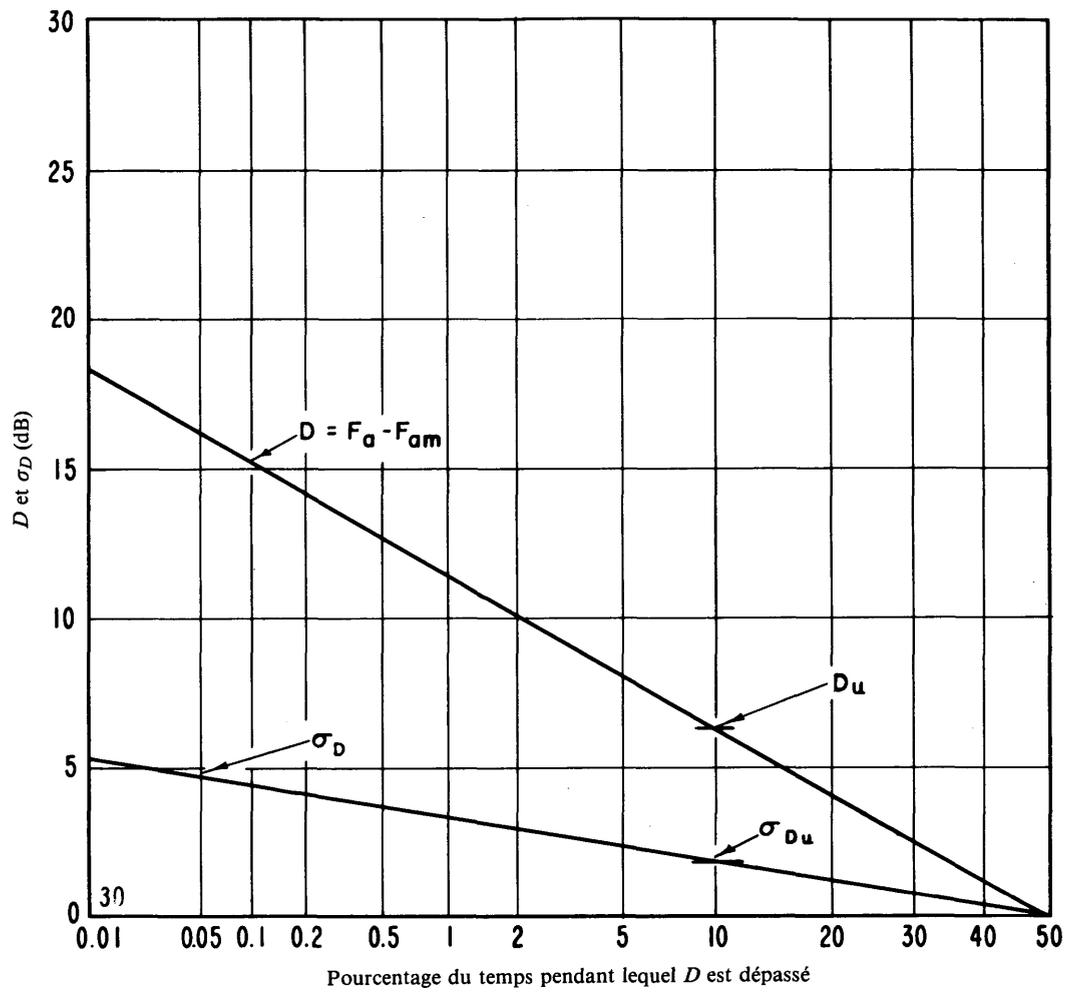


FIGURE 29 – Nomogramme permettant de transformer  $F_a$  en  $E_n$ , en fonction de la fréquence  $f_{\text{MHz}}$

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} - 65,5$$

( $E_n$ ,  $F_a$  et  $f_{\text{MHz}}$  sont définis dans la liste des notations)

FIGURE 30 – Valeurs attendues de  $D$  et leur écart type  $\sigma_D$ 

Eté; 2000-2400 h  
Fréquence: 50 kHz

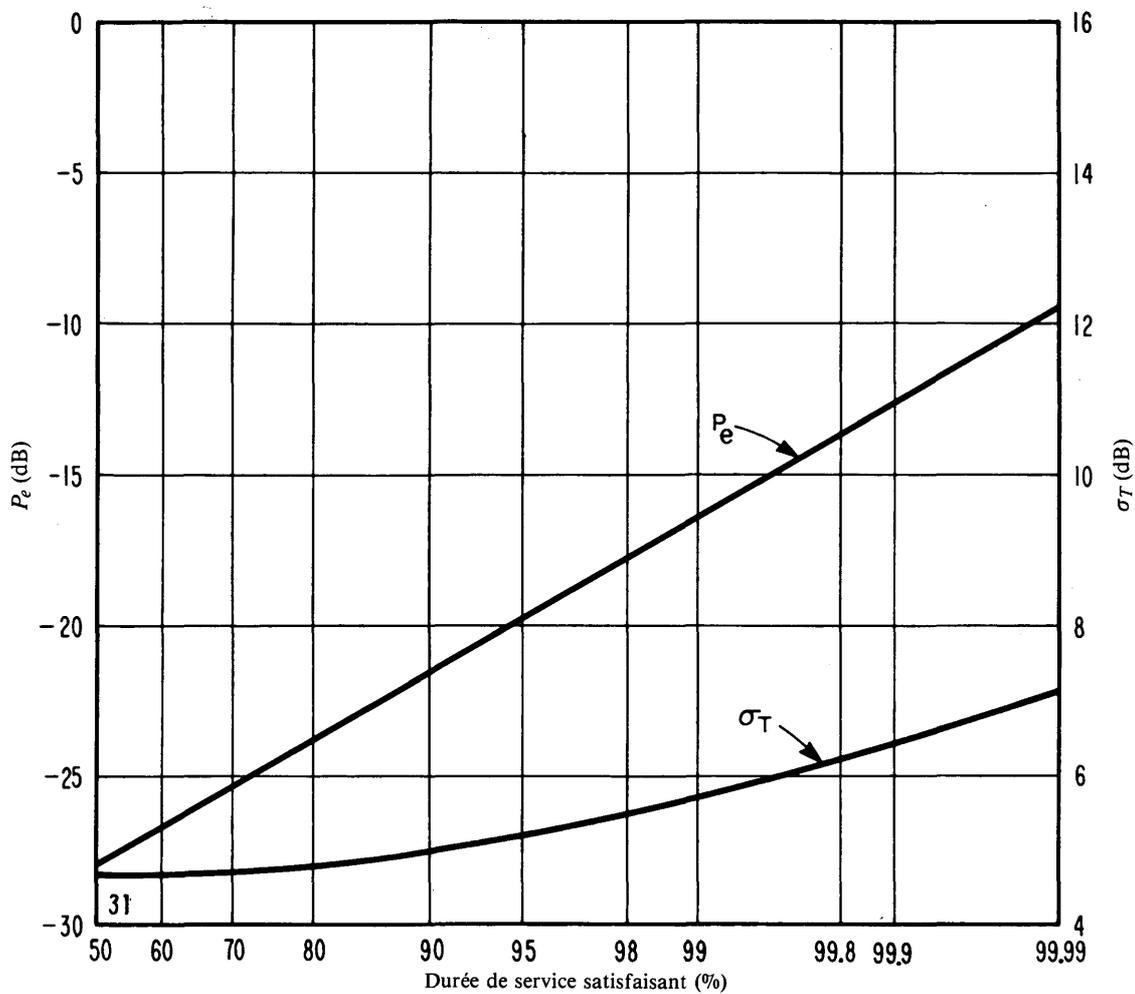


FIGURE 31 – Valeurs attendues de  $P_e$  et leur écart type  $\sigma_T$

Genève, Suisse  
 Été; 2000-2400 h  
 Fréquence: 50 kHz  
 Largeur de bande: 100 Hz  
 Erreurs binaires: 0,05%  
 Service: manipulation par déplacement de fréquence

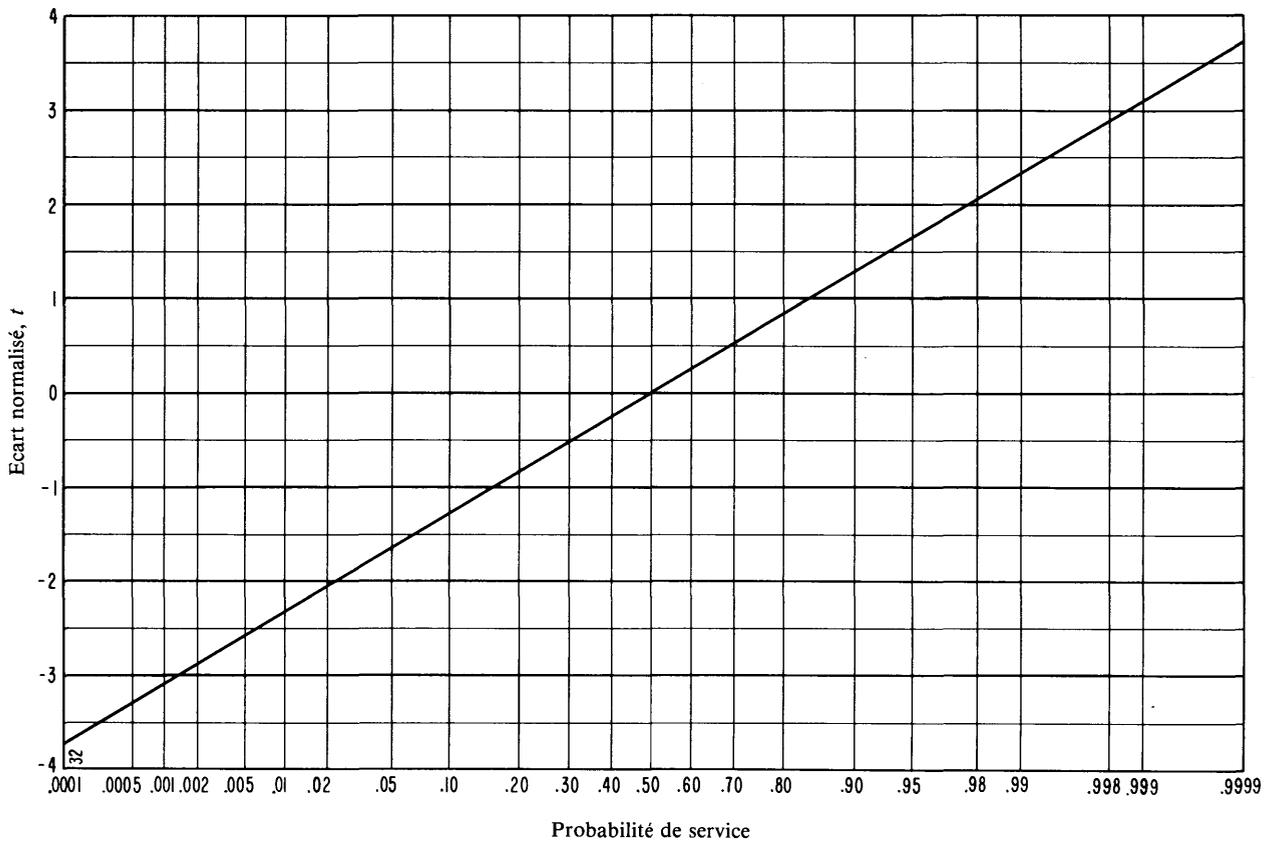


FIGURE 32 – Probabilité de service en fonction de l'écart normalisé  $t$

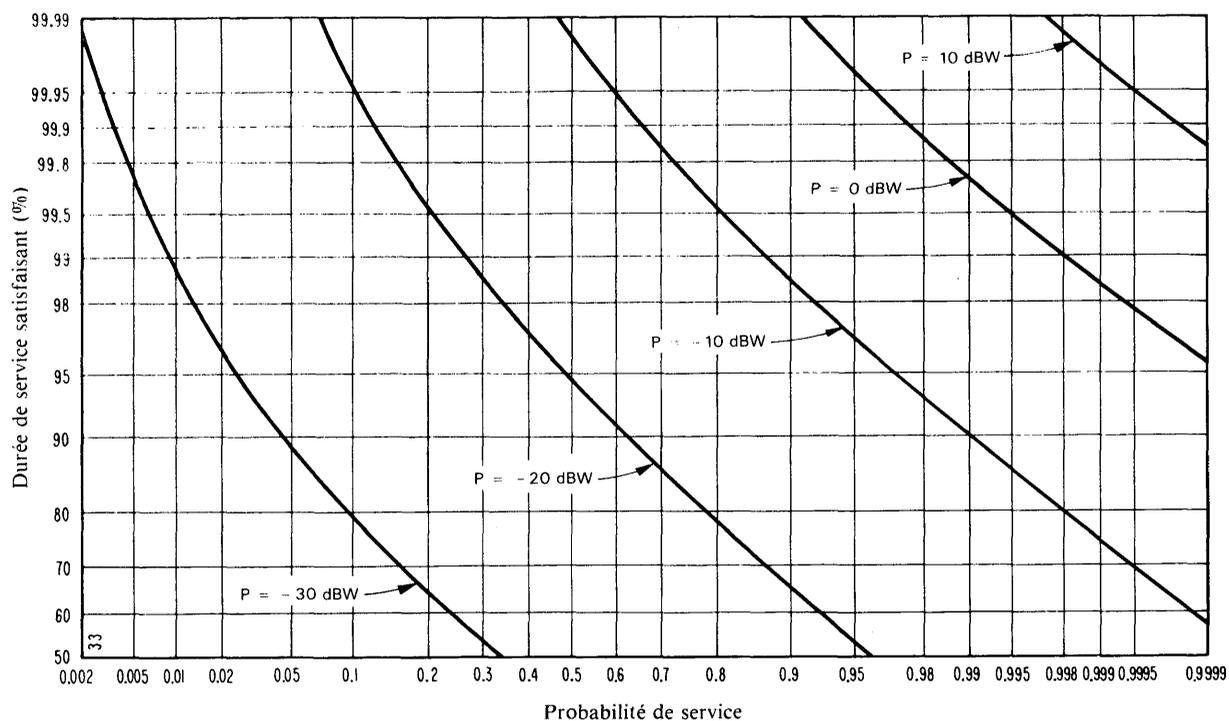
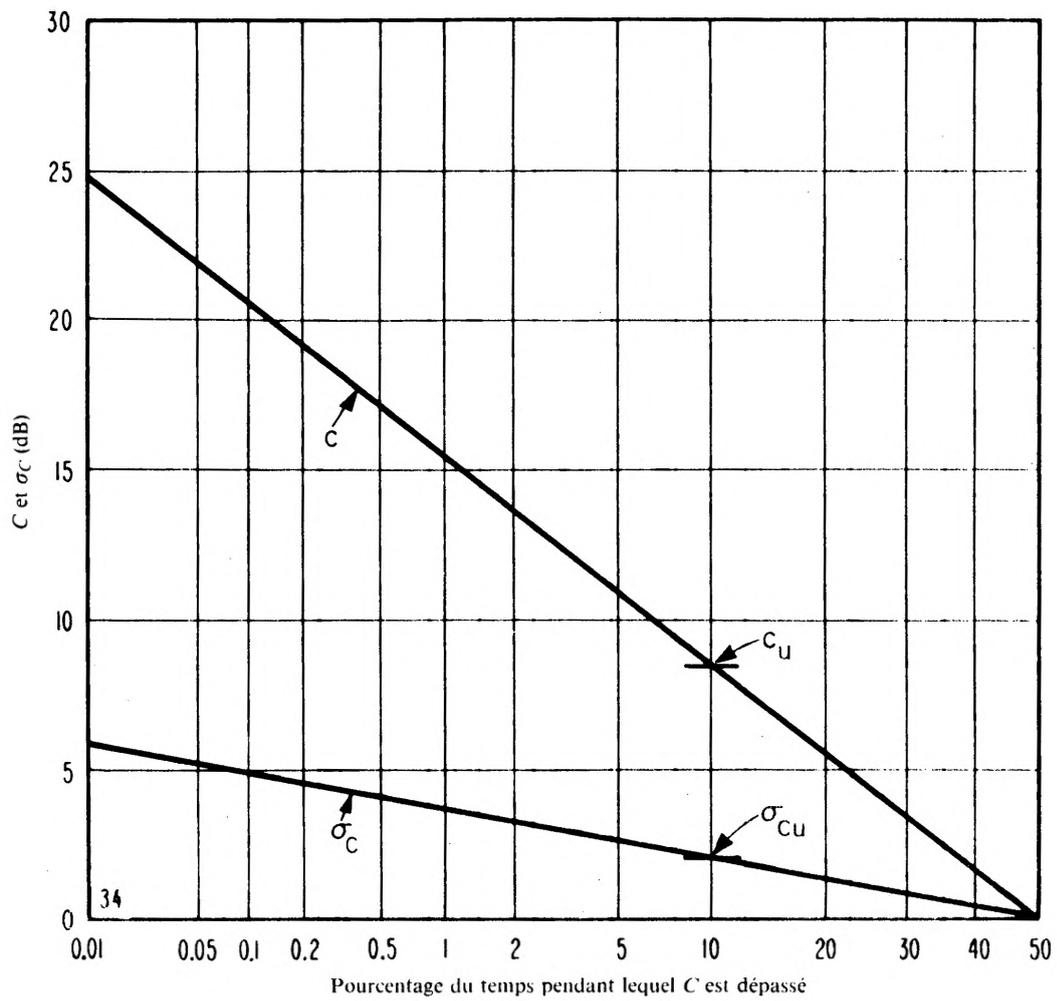


FIGURE 33 – Durée de service satisfaisant en fonction de la probabilité de service

Genève, Suisse  
 Eté; 2000-2400 h  
 Fréquence: 50 kHz  
 Largeur de bande: 100 Hz  
 Erreurs binaires: 0,05%  
 Service: manipulation par déplacement de fréquence

FIGURE 34 - Valeurs attendues de  $C$  et leur écart type  $\sigma_C$ 

Été; 2000-2400 h  
Fréquence: 5 MHz

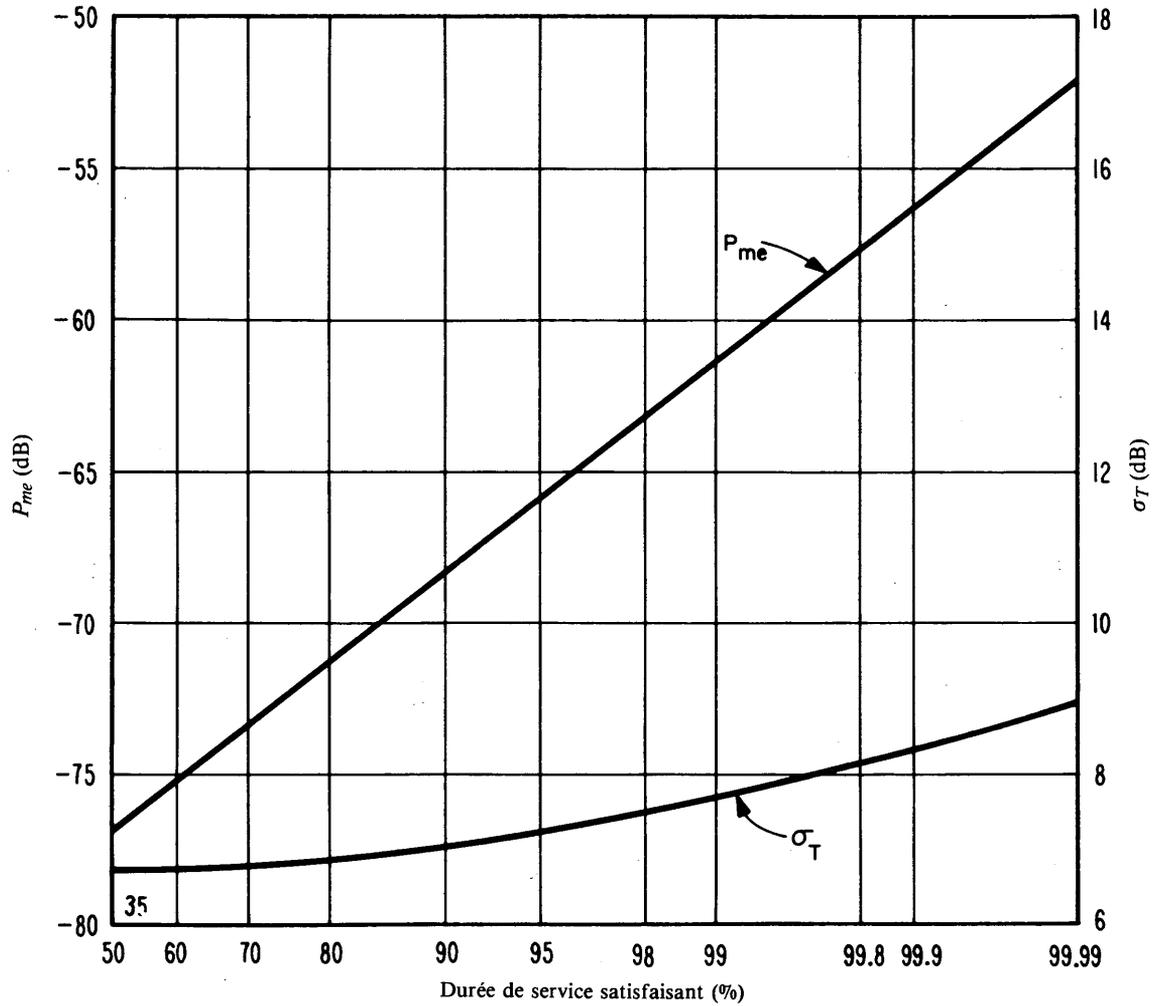


FIGURE 35 – Valeurs attendues de  $P_{me}$  et leur écart type  $\sigma_T$

Genève, Suisse  
 Eté; 2000-2400 h  
 Fréquence: 5 MHz  
 Largeur de bande: 6 kHz  
 Téléphonie A3E JN, qualité tout juste commerciale

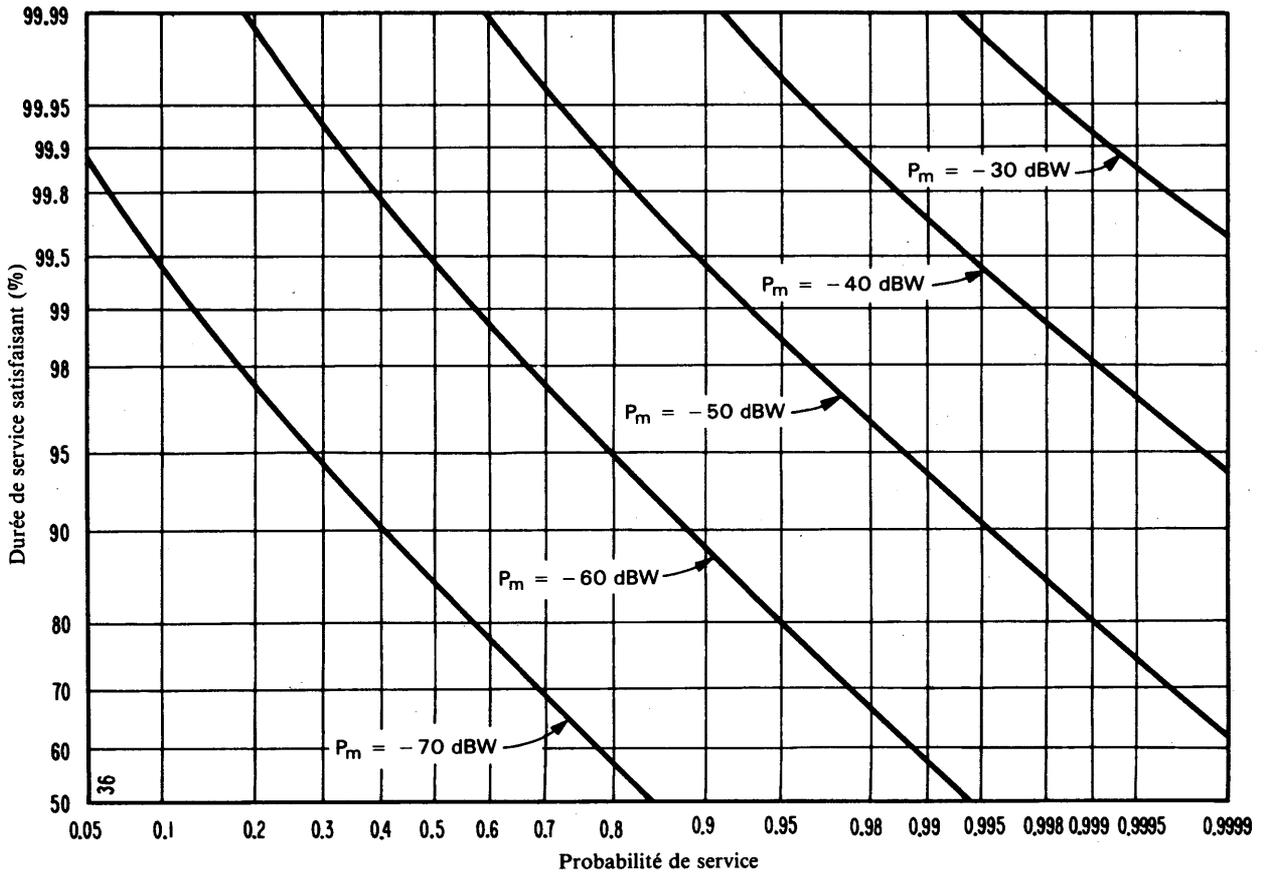


FIGURE 36 – *Durée de service satisfaisant en fonction de la probabilité de service*

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

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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.
- 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., SMITH, D. F., MORTON, R. N. et CORLISS, W. R. [1955] World-wide radio noise levels expected in the frequency band 10 kc/s to 100 Mc/s. NBS Circular 557.
- CRICHLOW, W. Q., DISNEY, R. T. et JENKINS, M. A. [1959-1962] Quarterly radio noise data. NBS Tech. Note Nos. 18 to 18-13.
- 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. *J. Res. NBS*, Vol. 64D (Radio propagation), 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. [1981] Man-made electromagnetic noise. *Handbook of Atmospheric*, Chapitre 7. Ed. H. Volland, CRC Press, Boca Raton, FL, Etats-Unis d'Amérique.
- KRONJÄGER, W. et VOGT, K. [1959] Über das Aussengeräusch kommerzieller Antennenanlagen (Bruits atmosphériques sur des systèmes d'antennes du service fixe). *NTZ*, 12, 371.
- LICHTER, Ya. I. et TERINA, G. J. [1960] Some results of the investigations of atmospheric radio noise at Moscow. *Some ionospheric results obtained during the IGY*. Ed. Beynon, Elsevier, Londres, Royaume-Uni.
- LUCAS, D. L. et HARPER, J. D. [1965] A numerical representation of CCIR Report 322: high frequency (3-30 Mc/s) atmospheric radio noise data. NBS Tech. Note 318, US Dept. of Commerce, Washington DC.
- 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.
- SPAULDING, A. D. [1981] Atmospheric radio noise and its effects on telecommunication systems. *Handbook of Atmospheric*, Chapitre 6. Ed. H. Volland, CRC Press, Boca Raton, FL, Etats-Unis d'Amérique.
- SPAULDING, A. D., ROUBIQUE, C. J. et CRICHLOW, W. Q. [1962] Conversion of the amplitude-probability distribution function for atmospheric radio noise from one bandwidth to another. *J. Res. NBS*, Vol. 66D, 713.
- URSI [1962] The measurement of characteristics of terrestrial radio noise. Special Report No. 7. Elsevier, Londres, Royaume-Uni.
- URSI [1981] *Review of Radio Science 1978-1980*, EM noise and interference, E1-E13. International Union of Radio Science, Bruxelles, Belgique.
- WATT, A. D., COON, R. M., MAXWELL, E. L., et PLUSH, R. W. [1958] Performance of some radio systems in the presence of thermal and atmospheric noise. *Proc. IRE*, Vol. 46, 1914.
- ZACHARISEN, D. H. et JONES, W. B. [1970] World maps of atmospheric radio noise in universal time by numerical mapping. Telecommunications Research Report OT/ITS/TRR2, US Dept. of Commerce, Washington DC.

Imprimé en Suisse

ISBN 92-61-01742-8