

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.372-10
(10/2009)

Bruit radioélectrique

Série P
Propagation des ondes radioélectriques



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2010

© UIT 2010

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R P.372-10

Bruit radioélectrique*

(Question UIT-R 214/3)

(1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-2001-2003-2007-2009)

Domaine de compétence

La Recommandation UIT-R P.372 fournit des informations sur les niveaux de fond du bruit radioélectrique dans la gamme des fréquences comprises entre 0,1 Hz et 100 GHz. Elle prend en compte le bruit dû aux éclairs, aux sources de bruit artificiel, à la galaxie et à la température de la basse atmosphère. Les facteurs de bruit ou les températures sont indiqués pour servir de base à l'évaluation de la qualité de fonctionnement des systèmes.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le bruit radioélectrique limite la qualité de fonctionnement des systèmes radioélectriques;
- b) que le facteur de bruit d'antenne équivalent ou la température de bruit d'antenne ainsi que la distribution de probabilité des amplitudes de l'enveloppe du bruit reçu sont des paramètres (presque toujours nécessaires mais parfois insuffisants) à utiliser dans la détermination de la qualité de fonctionnement et la conception des systèmes;
- c) qu'en règle générale, il n'est pas judicieux d'utiliser des systèmes de réception dont le facteur de bruit est inférieur à celui imposé par le bruit extérieur minimal;
- d) qu'il est nécessaire de disposer de données sur les rayonnements radioélectriques de sources naturelles:
 - pour évaluer les effets de l'atmosphère sur les ondes radioélectriques;
 - pour attribuer les fréquences requises pour les opérations de télédétection de l'environnement de la Terre,

recommande

d'utiliser, s'il y a lieu, les données suivantes pour la conception et l'analyse des systèmes radioélectriques:

* Un programme informatique associé aux caractéristiques et aux applications du bruit atmosphérique dû aux éclairs, du bruit artificiel et du bruit galactique, à des fréquences inférieures à 100 MHz environ, décrites dans la présente Recommandation, est disponible dans la partie du site web de l'UIT-R réservée à la Commission d'études 3 des radiocommunications.

1 Sources de bruit radioélectrique

Le bruit radioélectrique est défini dans la Recommandation UIT-R V.573 comme suit:

«**bruit radioélectrique:**

Phénomène électromagnétique variable se manifestant aux radiofréquences, ne portant apparemment pas d'informations, et susceptible de se superposer à un signal utile.

Note 1 – Un bruit radioélectrique peut fournir dans certains cas des informations sur certaines caractéristiques de sa source, par exemple sur la nature, l'emplacement de celle-ci.

Note 2 – Un ensemble de signaux peut apparaître comme un bruit radioélectrique, lorsqu'ils ne sont pas identifiables séparément.»

La Recommandation UIT-R P.372 contient des données sur les origines du bruit radioélectrique extérieur capté par un système de réception radioélectrique. Les origines de ce bruit sont les suivantes:

- signaux émis par les éclairs (bruit atmosphérique dû à la foudre);
- rayonnements parasites globaux des machines électriques, des équipements électriques et électroniques, des lignes électriques ou bruit des systèmes d'allumage de moteurs à combustion interne (bruit artificiel);
- émissions des gaz atmosphériques et des hydrométéores;
- bruit dû au sol ou aux autres obstacles se trouvant dans le faisceau de l'antenne;
- rayonnements des sources radioélectriques célestes.

NOTE 1 – Les estimations des niveaux de bruit radioélectrique indiquées ici se rapportent au niveau de bruit de fond en l'absence d'autres signaux, que ce bruit soit émis intentionnellement ou non. En conséquence, le bruit ou les signaux imputables à des émissions brouilleuses dans le même canal ou à des rayonnements parasites d'émetteurs ou de récepteurs n'entrent pas dans le cadre de la présente Recommandation.

NOTE 2 – Dans le cas du bruit artificiel, les données indiquées sont censées être représentatives de la catégorie d'environnement, pour des niveaux usuels d'activité électrique et électronique conformes aux conditions normales de fonctionnement, aux distances habituelles pour l'environnement considéré.

2 Termes pour spécifier l'intensité du bruit et leur interrelation

Le facteur de bruit f , d'un récepteur est la résultante de l'ensemble des sources de bruit captées aux bornes de réception du système. Il faut tenir compte du bruit interne et du bruit externe. Le seul point de référence permettant de déterminer le facteur de bruit total de fonctionnement d'un récepteur radioélectrique est le point d'entrée d'une antenne de réception sans perte équivalente (les bornes de cette antenne sans perte n'existent pas physiquement). Pour des récepteurs ne présentant pas de réponses parasites, le facteur de bruit du système est donné par la formule:

$$f = f_a + (f_c - 1) + l_c (f_t - 1) + l_c l_t (f_r - 1) \quad (1)$$

où:

f_a : facteur de bruit externe défini comme étant:

$$f_a = \frac{P_n}{k t_0 b} \quad (2)$$

NOTE 1 – F_a : valeur de bruit externe défini comme étant:

$$F_a = 10 \log f_a \quad \text{dB}$$

p_n : puissance de bruit délivrée par une antenne équivalente sans perte

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

t_0 : température de référence (K), prise égale à 290 K

b : largeur de bande de la puissance de bruit du système de réception (Hz)

l_c : pertes du circuit d'antenne (rapport puissance d'entrée disponible/puissance de sortie disponible)

l_t : pertes de la ligne de transmission (rapport puissance d'entrée disponible/puissance de sortie disponible)

f_r : facteur de bruit du récepteur

NOTE 2 – F_r : valeur du facteur de bruit définie par la relation:

$$F_r = 10 \log f_r \quad \text{dB}$$

f_c est le facteur de bruit associé aux pertes du circuit d'antenne:

$$f_c = 1 + (l_c - 1) \left(\frac{t_c}{t_0} \right) \quad (3)$$

f_t est le facteur de bruit associé aux pertes de la ligne de transmission:

$$f_t = 1 + (l_t - 1) \left(\frac{t_t}{t_0} \right) \quad (4)$$

où:

t_c : température réelle (K) de l'antenne et du sol à proximité de cette antenne

et

t_t : température réelle (K) de la ligne de transmission.

Si $t_c = t_t = t_0$, la formule (1) devient:

$$f = f_a - 1 + f_c f_t f_r \quad (5)$$

L'équation (2) peut s'écrire:

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

où:

$P_n = 10 \log p_n$ (p_n : puissance disponible (W))

$B = 10 \log b$, et $-204 = 10 \log k t_0$.

Pour une courte antenne unipolaire verticale, ($h \ll \lambda$) au-dessus d'un sol parfaitement plan, la composante verticale du champ efficace est donnée par la formule:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 95,5 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (7)$$

où:

E_n : champ dans la largeur de bande b
 f_{MHz} : fréquence centrale (MHz).

De même, pour un doublet demi-onde en espace libre:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 98,9 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (8)$$

Le facteur de bruit externe est aussi couramment exprimé sous forme d'une température, t_a , où, par définition de f_a :

$$f_a = \frac{t_a}{t_0} \quad (9)$$

où t_a est la température apparente de l'antenne due au bruit externe.

Pour évaluer F_a , on peut déterminer les valeurs correspondantes de E_n en utilisant des équations telles que (7) et (8) appropriées au type de l'antenne utilisée.

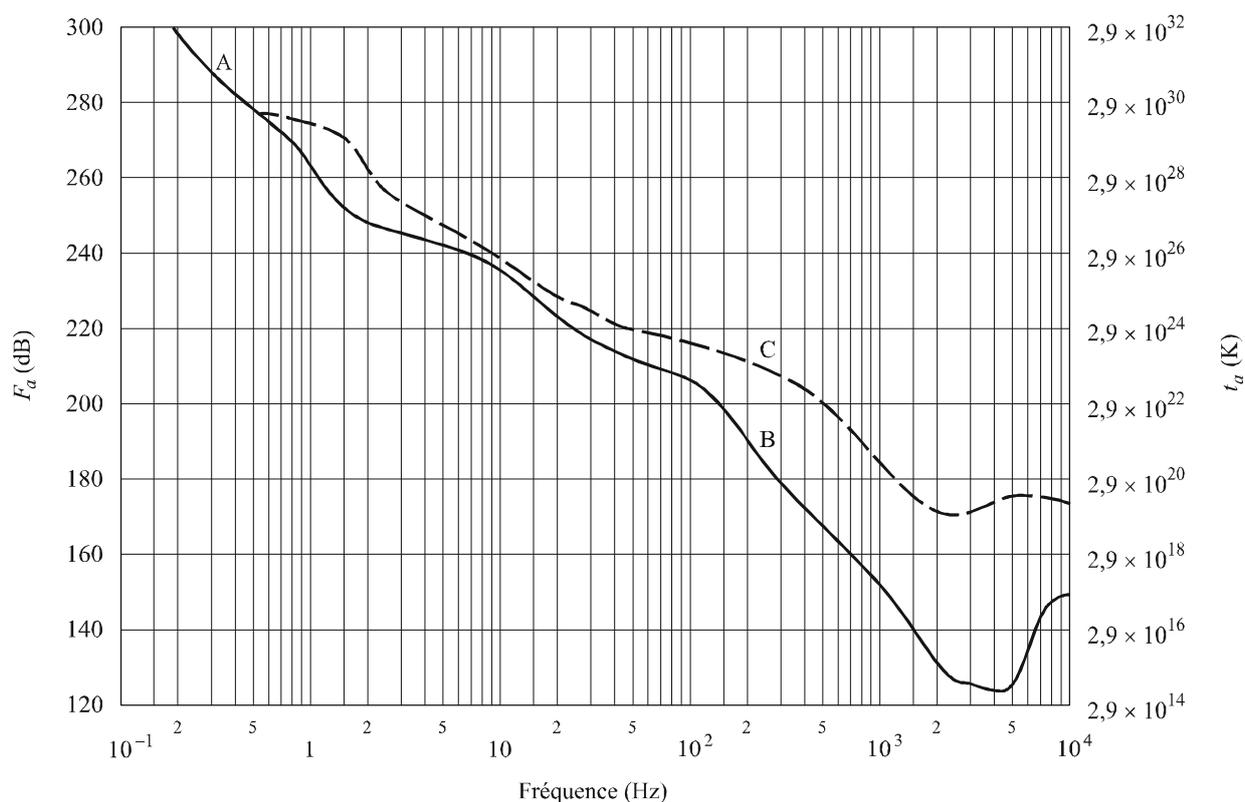
La puissance de bruit ci-dessus, si elle est nécessaire pour déterminer, par exemple, le rapport signal/bruit, est rarement suffisante pour déterminer la qualité de fonctionnement d'un système (le bruit blanc de fond gaussien étant la seule exception). Il faut des descriptions probabilistes appropriées pour le bruit aléatoire reçu. Etant donné que pour les types de bruits couverts par la présente Recommandation, la phase de l'enveloppe reçue est généralement une distribution uniforme, la distribution de probabilité des amplitudes (APD) (probabilité de dépassement) de l'enveloppe reçue est spécifiée. Dans le cas de bruit impulsif de fréquences élevées (par exemple supérieures à 1 GHz environ) les valeurs de F_a sont assez faibles et seules les impulsions de grande amplitude apparaissent au-dessus du seuil de bruit du récepteur. En l'occurrence, on décrit ces phénomènes par la valeur crête pendant une période de temps donnée, par les probabilités de dépassement aux niveaux élevés, par décompte des impulsions à un niveau donné, etc.

3 Niveaux de bruit en fonction de la fréquence

Les Fig. 1-3 suivantes permettent de spécifier les valeurs attendues de F_a pour les fréquences comprises entre 0,1 Hz et 100 GHz ainsi que d'autres niveaux de bruit considérés. Ces figures représentent l'amplitude relative des types de bruit spécifiés au § 1. On trouvera dans les paragraphes ultérieurs de la présente Recommandation d'autres précisions concernant les divers types de bruit.

La Fig. 1 couvre la gamme des fréquences comprises entre 0,1 Hz et 10 kHz. La courbe en trait plein représente les valeurs médianes horaires minimales attendues de F_a fondées sur des mesures (compte tenu de la surface entière de la Terre, pour toutes les saisons et heures du jour) et la ligne en tirets représente les valeurs maximales attendues. Il convient de noter que dans cette gamme de fréquences, il y a très peu de variations saisonnières, diurnes ou géographiques. La plus grande variabilité dans la gamme 100 à 10000 Hz est due à la variabilité de la fréquence de coupure du conduit Terre-ionosphère.

FIGURE 1

 F_a valeur minimale et maximale, en fonction de la fréquence (0,1 à 10^4 Hz)

A: micro-impulsions
 B: valeur minimale attendue du bruit atmosphérique
 C: valeur maximale attendue du bruit atmosphérique

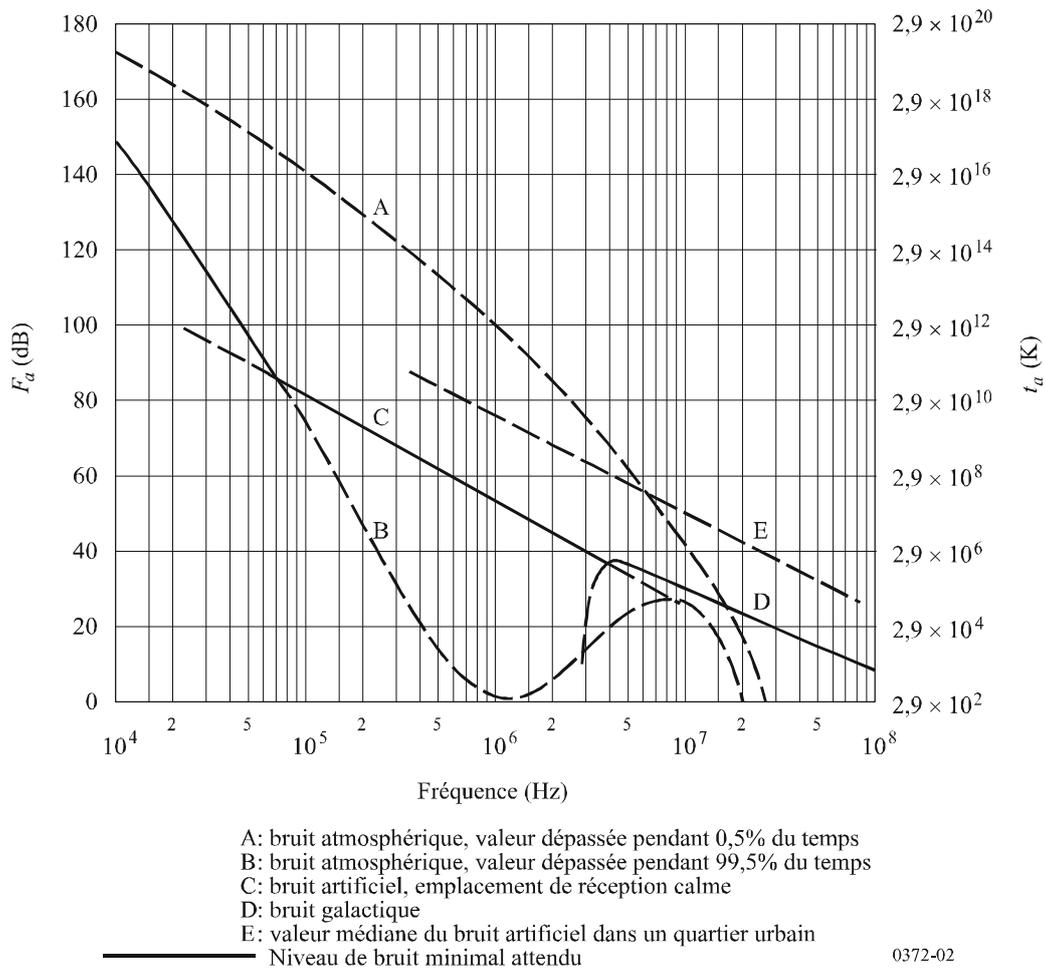
0372-01

La Fig. 2 couvre la gamme de fréquences comprises entre 10^4 et 10^8 Hz, c'est-à-dire 10 kHz à 100 MHz pour diverses catégories de bruit. Le bruit minimal attendu est représenté par les courbes en traits pleins. Pour le bruit atmosphérique, les valeurs minimales des médianes horaires attendues sont les valeurs dépassées pendant 99,5% des heures et les valeurs maximales sont les valeurs dépassées pendant 0,5% des heures. Pour les courbes représentant le bruit atmosphérique, toutes les heures du jour, les saisons et la surface entière de la Terre, ont été prises en considération.

La Fig. 3 couvre la gamme de fréquences comprises entre 10^8 et 10^{11} Hz c'est-à-dire entre 100 MHz et 100 GHz. Là encore, le niveau de bruit minimal est représenté par les courbes en traits pleins alors que certains autres bruits qui présentent de l'intérêt, par des courbes en tirets.

La plupart des résultats indiqués sur les Fig. 1-3 s'appliquent à des antennes omnidirectionnelles (sauf indication contraire sur les figures). Cependant, pour les antennes directives, des études ont montré que dans la bande des ondes décimétriques (par exemple), pour ce qui est du bruit atmosphérique dû aux orages, on peut observer une variation atteignant 10 dB (5 dB au-dessus à 5 dB au-dessous de la valeur moyenne F_a indiquée) selon l'orientation, la fréquence et l'emplacement géographique, pour le cas d'antennes à faisceau très étroit.

FIGURE 2

 F_a en fonction de la fréquence (10^4 à 10^8 Hz)

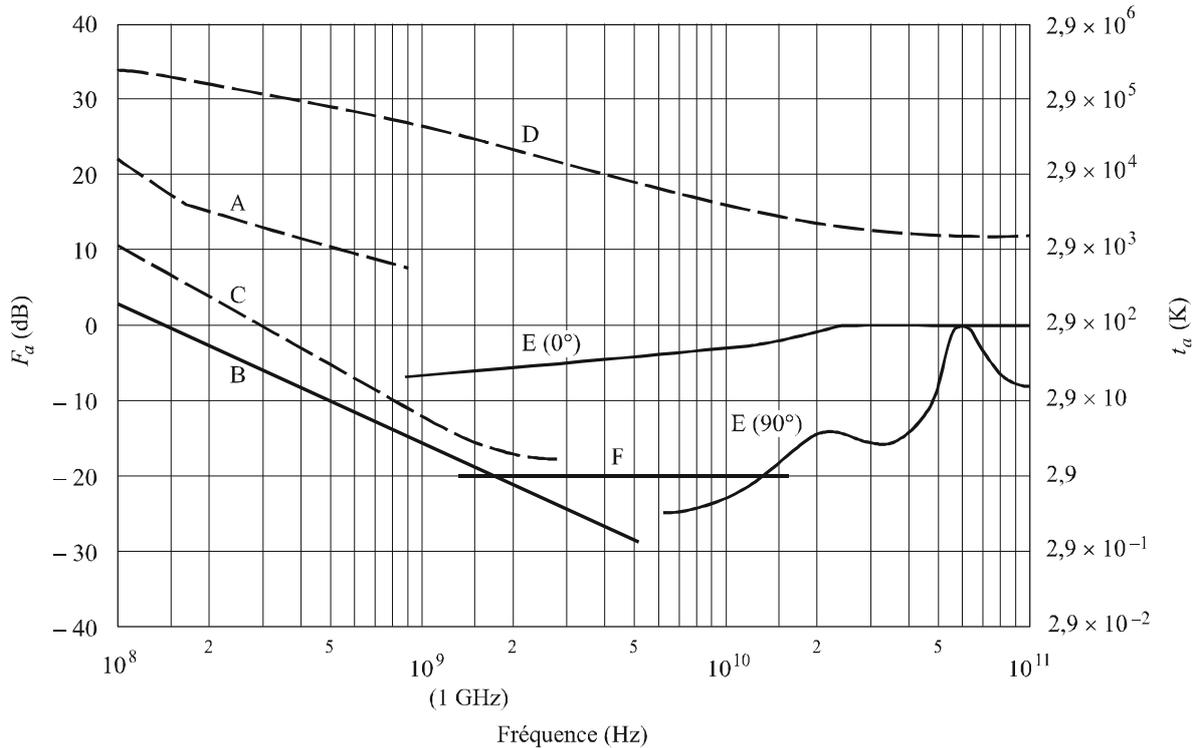
En ce qui concerne le bruit galactique, la valeur moyenne (sur l'ensemble du ciel) est représentée par la courbe en traits pleins portant l'indication «bruit galactique» (Fig. 2 et 3). Les mesures montrent une variation de ± 2 dB par rapport à cette courbe en négligeant l'effet d'écran de l'ionosphère. Le niveau minimal de bruit galactique (antenne à faisceau étroit orientée vers le pôle galactique) est de 3 dB inférieur à celui qui est représenté par la courbe du bruit galactique en traits pleins de la Fig. 3. Le niveau maximal de bruit galactique pour les antennes à faisceau étroit est représenté par une courbe en tirets à la Fig. 3.

4 Bruit rayonné par les gaz atmosphériques et la surface de la Terre

Le bruit rayonné par des sources particulières comme le Soleil, les gaz atmosphériques, la surface de la Terre, etc. s'exprime généralement en termes de température de brillance t_b . La température d'antenne t_a s'obtient par convolution du diagramme d'antenne et de la température de brillance du ciel et du sol. Pour des antennes dont les diagrammes englobent une seule source, la température de l'antenne et la température de brillance sont identiques (courbes C, D et E de la Fig. 3 par exemple).

FIGURE 3

F_a en fonction de la fréquence (10^8 à 10^{11} Hz)



- A: valeur médiane estimative du bruit artificiel dans un quartier urbain
 - B: bruit galactique
 - C: bruit galactique (en direction du centre galactique avec ouverture de faisceau infiniment étroite)
 - D: Soleil calme (ouverture du faisceau $\frac{1}{2}^\circ$ orienté vers le Soleil)
 - E: bruit du ciel dû à l'oxygène et à la vapeur d'eau (antenne à faisceau très étroit):
courbe supérieure, angle d'élévation 0° ; courbe inférieure, angle d'élévation 90°
 - F: corps noir (fond cosmique), 2,7 K
- Niveau de bruit minimal attendu

0372-03

Les Fig. 4 et 5 montrent la température de brillance de l'atmosphère mesurée à partir d'un récepteur au sol, à l'exclusion de la contribution du bruit cosmique de 2,7 K ou d'autres sources extraterrestres pour des fréquences comprises entre 1 et 340 GHz (premier exemple) et entre 1 et 60 GHz (second exemple). Les courbes sont établies à partir d'un programme de calcul du transfert par rayonnement pour sept angles d'élévation différents et une atmosphère moyenne (densité de la vapeur d'eau à la surface 7,5 g, température à la surface de 288 K et hauteur d'échelle de 2 km pour la vapeur d'eau). On a utilisé l'atmosphère «1976 United States Standard Atmosphere» pour l'atmosphère sèche. La contribution typique de la vapeur d'eau est ajoutée au-dessus de la tropopause.

Dans le cas d'une communication Terre-espace, si l'on connaît l'affaiblissement du signal émis par l'émetteur d'un engin spatial, on peut obtenir une bonne évaluation de la température de brillance dans cette direction pour des fréquences comprises entre 2 et 30 GHz. Cette température est donnée par la formule suivante:

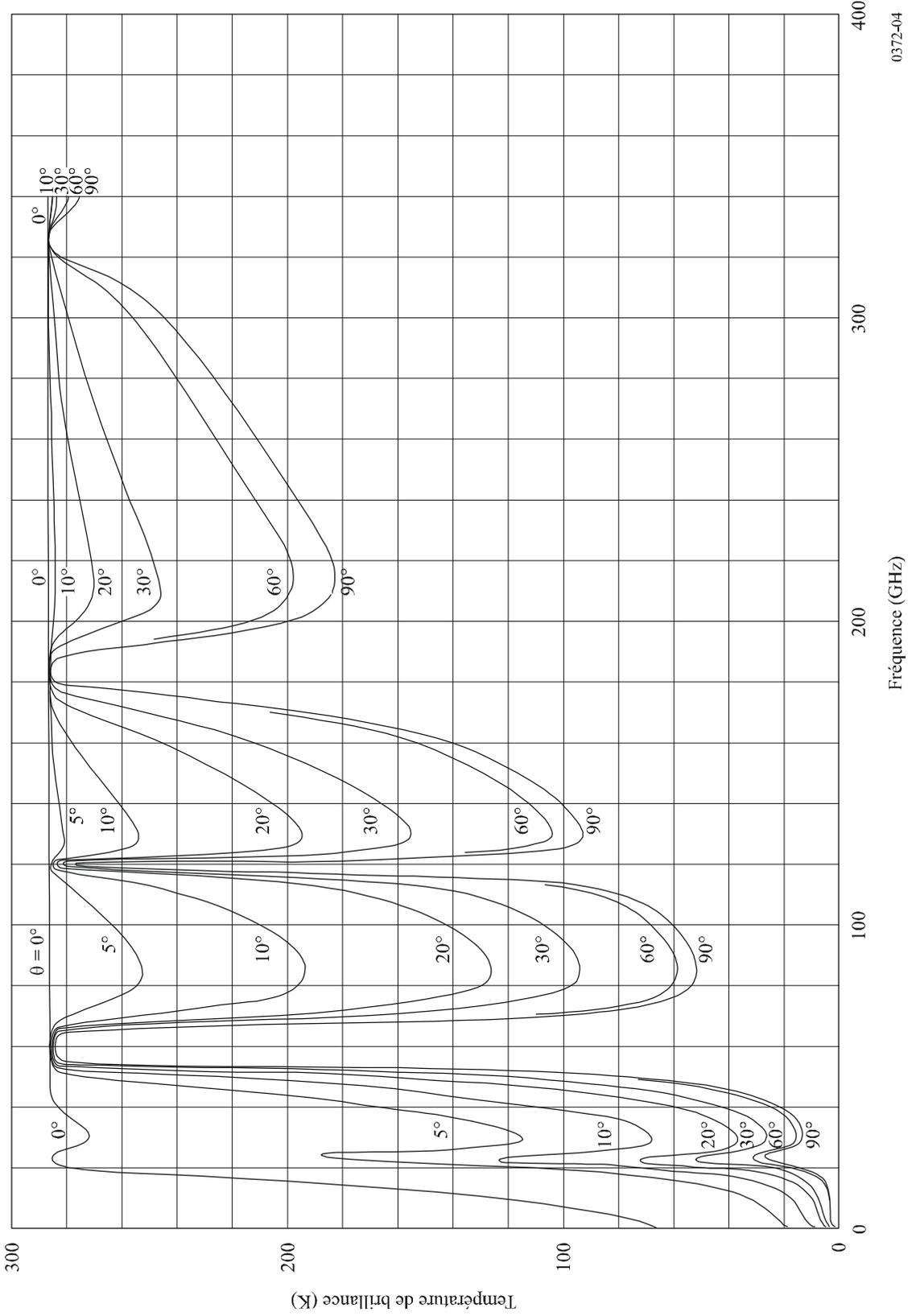
$$t_b = t_e (1 - e^{-d}) + 2,7 \quad \text{K} \quad (10)$$

où:

- d : profondeur optique = affaiblissement (dB/4,343)
- t_e : température apparente généralement voisine de 275 K.

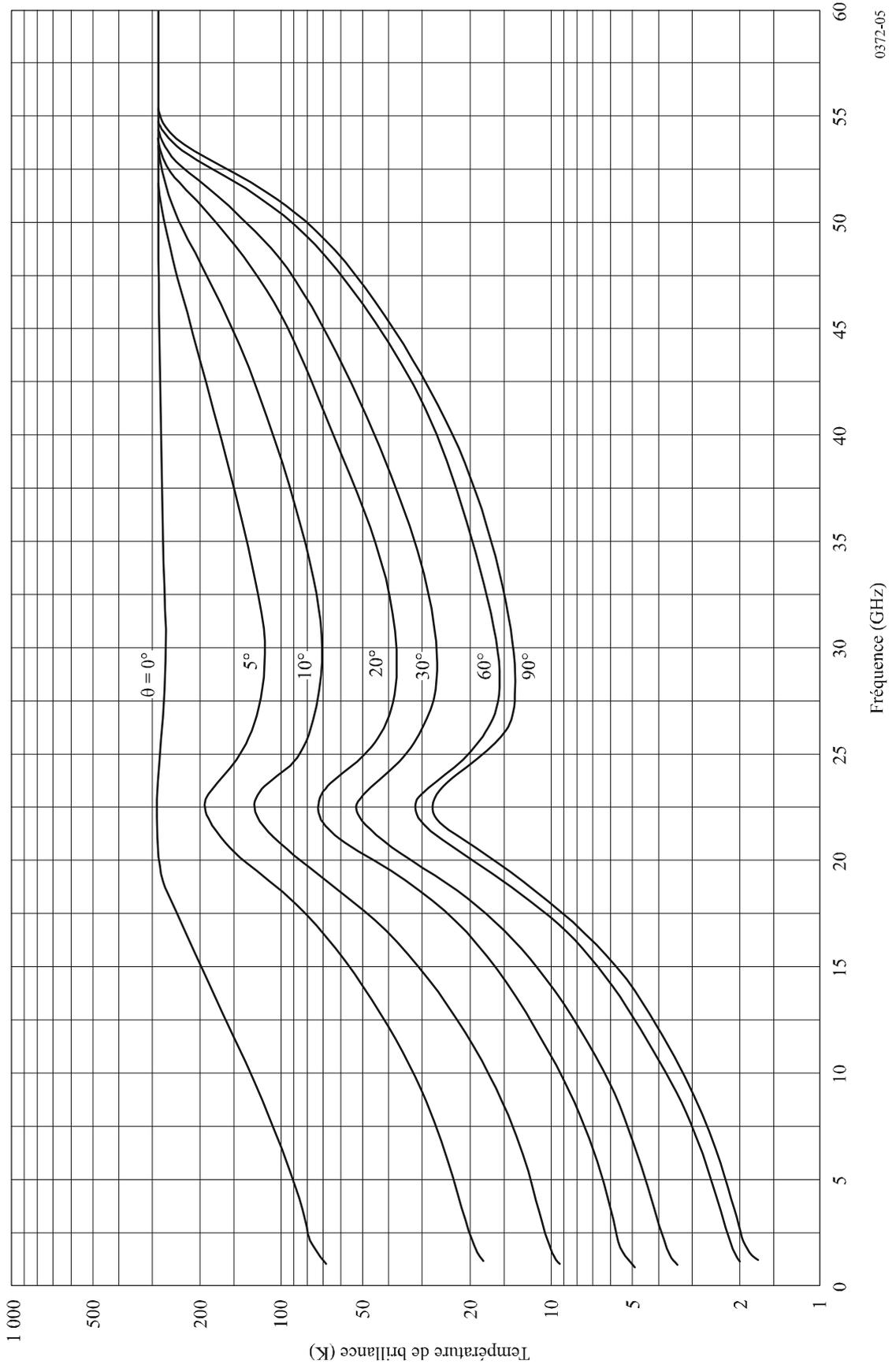
FIGURE 4

Température de brillance (atmosphère claire) pour une concentration en vapeur d'eau de 7,5 g/m³
 (température et pression au sol 15° C et 1 023 mb); θ est l'angle d'élévation



0372-04

FIGURE 5
 Température de brillance (atmosphère claire) pour une concentration en vapeur d'eau de 7,5 g/m³
 (élargissement de l'échelle des abscisses de la Fig. 4); θ est l'angle d'élévation



0372-05

La relation qui précède donnera des résultats avec une précision d'environ 0,1 dB en dessous de 30 GHz. Au-dessus de cette fréquence une composante diffusion intervient dans l'affaiblissement et l'évaluation de la température de brillance sera trop élevée. On peut utiliser la relation qui précède pour inclure l'affaiblissement dû à la pluie.

Une étude du transfert radiatif tenant compte de l'effet des nuages a été faite aux Etats-Unis d'Amérique. Les températures de brillance au zénith ont été calculées à partir de données météorologiques pour une année représentative sélectionnées à partir d'une base de données de 15 ans pour 15 emplacements. Les résultats concernant deux emplacements aux Etats-Unis d'Amérique à savoir Yuma dans l'Arizona (hauteur de pluie annuelle: 5,5 cm) et New York (hauteur de pluie annuelle: 98,5 cm) sont donnés aux Fig. 6a) et b) pour cinq fréquences différentes. On peut voir d'après les courbes que la température de bruit au zénith à 90 GHz peut être inférieure à celle à 44 GHz. Tel est le cas pour des températures de brillance au zénith très basses, ce qui signifie que la concentration en vapeur d'eau est très faible (inférieure à 3 g/m³ environ). Il ressort toutefois de la Fig. 4 (7,5 g/m³ de vapeur d'eau) que les températures de brillance à 90 GHz et à 44 GHz sont pratiquement identiques.

La température de brillance à la surface de la Terre considérée en un nadir donné peut être calculée au moyen de l'équation de transfert radiatif, qui décrit la réflexion des rayonnements atmosphériques descendants et les rayonnements provenant de la surface de la Terre.

Ce calcul suppose l'intégration des rayonnements descendants pour tous les angles et tient compte de l'affaiblissement atmosphérique.

On peut utiliser son équation simplifiée:

$$T = \epsilon T_{surf} + \rho T_{atm}$$

avec:

- ϵ : pouvoir émissif équivalent de la surface
- ρ : coefficient de réflexion équivalent
- T_{surf} : température physique de la surface de la Terre (K)
- T_{atm} : moyenne pondérée de la température de brillance du ciel

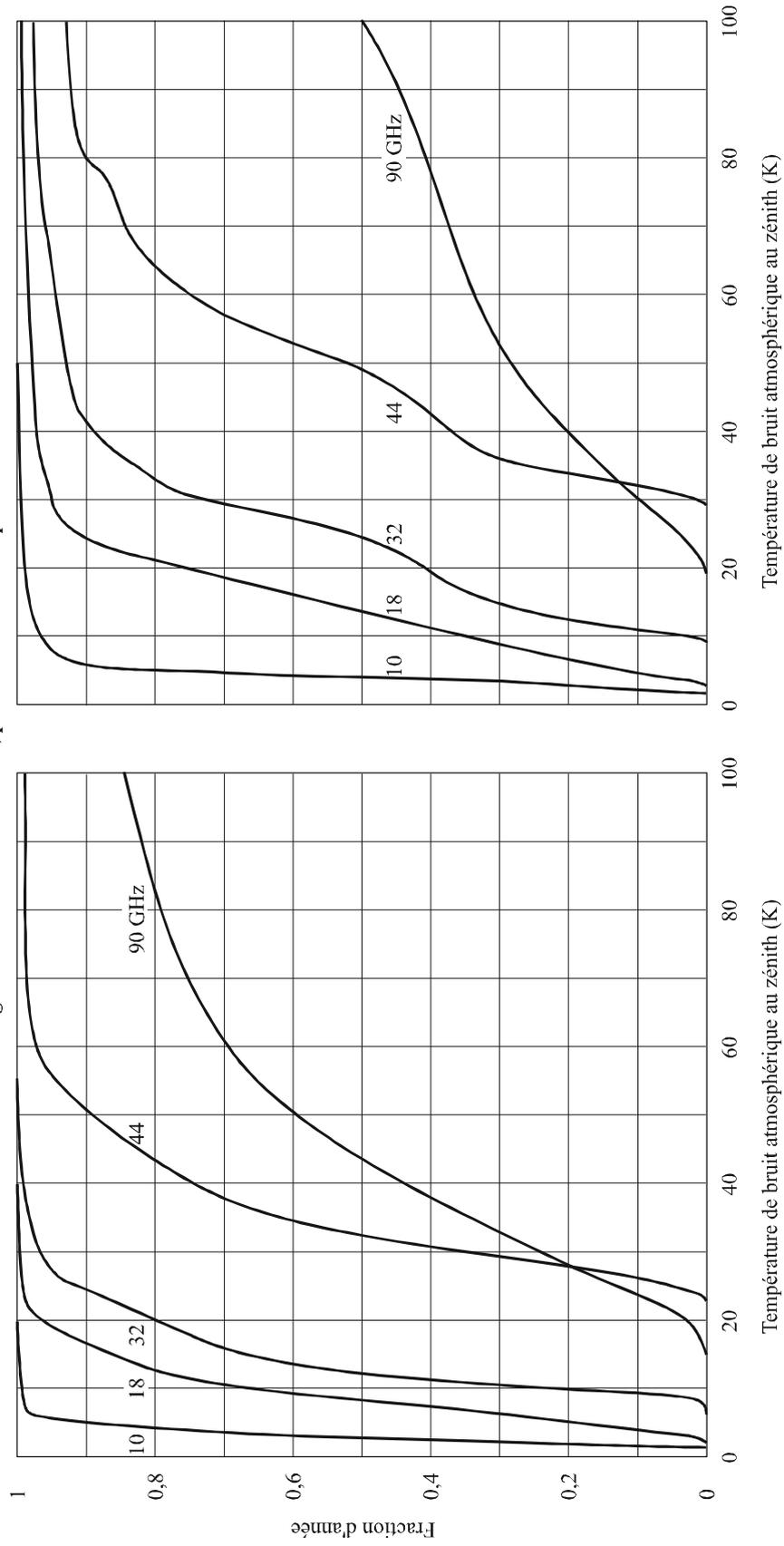
Jusqu'à environ 100 GHz, mais tout particulièrement au-dessous de 10 GHz, le coefficient de réflexion ρ est en général élevé et le pouvoir émissif ϵ faible.

La Fig. 7a) représente le pouvoir émissif et la température de brillance d'une surface d'eau calme en polarisation verticale et horizontale et selon deux angles d'incidence. Il convient de noter qu'à des fréquences supérieures à 5 GHz, il n'y a pas de différence entre l'eau de mer et l'eau douce.

La Fig. 7b) représente la température de brillance au nadir de la surface de la mer à trois fréquences en fonction de la température de la surface de la mer, pour une salinité de 36×10^{-3} .

Les Fig. 7c) et 7d) représentent l'augmentation de la température de brillance de la surface de la mer en fonction de la vitesse du vent; ces courbes sont également utiles pour la détection des coups de vent.

FIGURE 6
 Fraction du temps pendant lequel la température de bruit du ciel au zénith (brillance)
 est égale ou inférieure à l'abscisse, pendant une année représentative



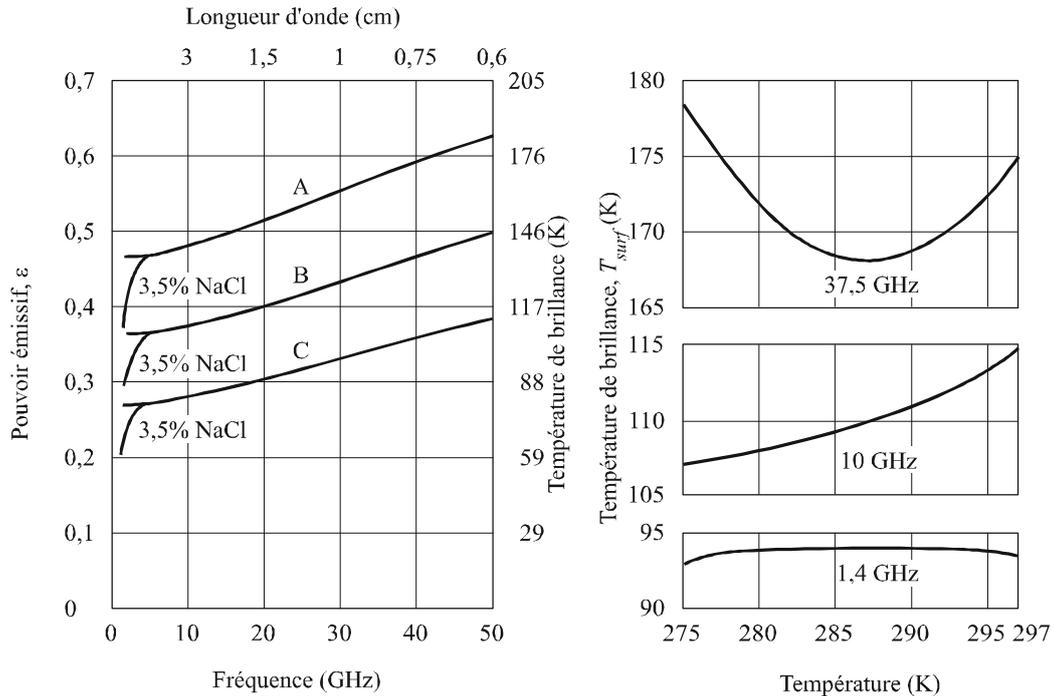
a) Yuma, Arizona, USA (1961; hauteur totale de pluie = 55 mm)

b) New York, NY, USA (1959; hauteur totale de pluie = 985 mm)

0372-06

FIGURE 7

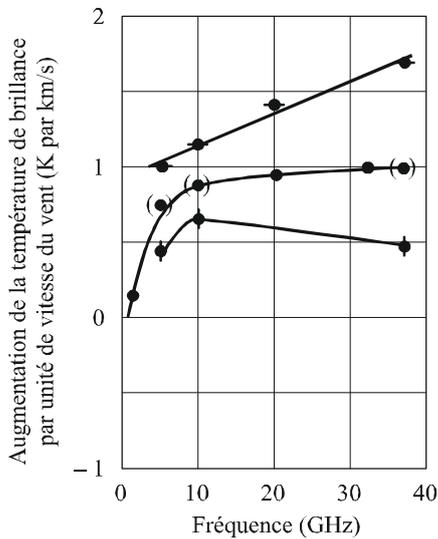
Variations du pouvoir émissif et de la température de brillance de la surface de la mer



a) Pouvoir émissif d'une surface d'eau lisse

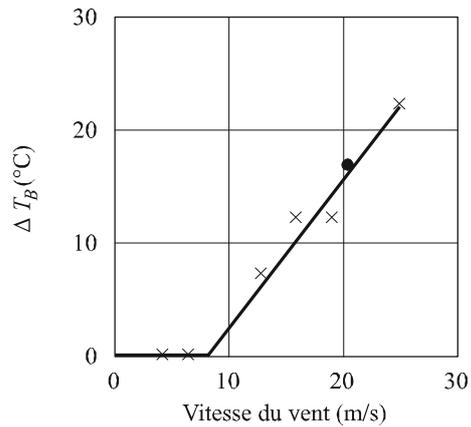
- A: polarisation verticale
- B: angles d'incidence de 45° et 0°
- C: polarisation horizontale

b) Température de brillance de la surface de la mer en fonction de la température de surface de la mer (nadir) pour une salinité de 36×10^{-3}



c) Spectre de l'augmentation de la température de brillance causée par le vent à la surface de l'océan

- Nadir
- ◆ Polarisation verticale (38°)
- Polarisation horizontale (38°)
- (•) Déduite



d) Augmentation de la température de brillance de la surface de l'océan à 19,35 GHz due à la vitesse du vent

- × Océan Atlantique, mer du Nord
- Mer de Salton

Les pouvoirs émissifs (et par conséquent les températures de brillance) des surfaces terrestres sont supérieurs à ceux de l'eau puisque les constantes diélectriques des sols sont inférieures. La Fig. 8a) représente la température de brillance d'un sol régulier pour différents taux d'humidité; la Fig. 8b) représente la température de brillance pour divers types d'irrégularités: les courbes sont données pour des polarisations verticale, horizontale et circulaire. Lorsque le degré d'humidité augmente, la température de brillance diminue; plus le sol est irrégulier, plus la température de brillance est élevée.

La Fig. 9 illustre les températures de brillance mesurées depuis l'orbite des satellites géostationnaires à l'aide d'un satellite utilisant un faisceau couvrant la Terre (la Terre se trouve dans le faisceau principal entre les points à 3 dB). Au fur et à mesure que le satellite se déplace autour de son orbite, on peut voir l'effet de la masse du continent africain (chaud) à 30° de longitude est et de l'océan Pacifique (froid) à 180°-150° de longitude ouest. La température de brillance augmente avec la fréquence, en raison essentiellement de l'absorption par les gaz. Les courbes sont tracées pour l'atmosphère normale des Etats-Unis d'Amérique, avec une concentration en vapeur d'eau de 2,5 g/m³ et une couverture nuageuse de 50%. Le diagramme de rayonnement de l'antenne assurant la couverture de la Terre est donné par la formule $G(\varphi) = -3(\varphi/8,715)^2$ dB, avec $0 \leq \varphi \leq 8,715$ (φ étant l'angle par rapport à l'axe de visée).

5 Bruit artificiel

Les valeurs médianes de la puissance de bruit artificiel¹ pour un certain nombre d'environnements sont indiquées à la Fig. 10. La Figure donne par ailleurs une courbe du bruit galactique (voir le § 6).

Dans tous les cas, les résultats peuvent s'exprimer comme une variation linéaire de la valeur médiane F_{am} en fonction de la fréquence:

$$F_{am} = c - d \log f \quad (11)$$

f étant exprimé en MHz, c et d prennent les valeurs indiquées dans le Tableau 1. Il convient de noter que l'équation (11) vaut pour les fréquences comprises entre 0,3 et 250 MHz pour toutes les catégories d'environnements, à l'exception de ceux qui correspondent aux courbes D et E comme l'indique la Figure.

TABLEAU 1

Valeurs des constantes c et d

Catégorie d'environnement	c	d
Quartier urbain (courbe A)	76,8	27,7
Quartier résidentiel (courbe B)	72,5	27,7
Zone rurale (courbe C)	67,2	27,7
Zone rurale calme (courbe D)	53,6	28,6
Bruit galactique (courbe E)	52,0	23,0

¹ Pour le bruit artificiel, la présente Recommandation indique le facteur de bruit externe, c'est-à-dire la composante du bruit qui a une distribution gaussienne. Le bruit artificiel comporte souvent une composante impulsive qui peut affecter sensiblement la qualité de fonctionnement des systèmes et réseaux radioélectriques.

FIGURE 8
Température de brillance du sol (terre ferme) à 1 430 MHz en fonction de l'angle d'élevation

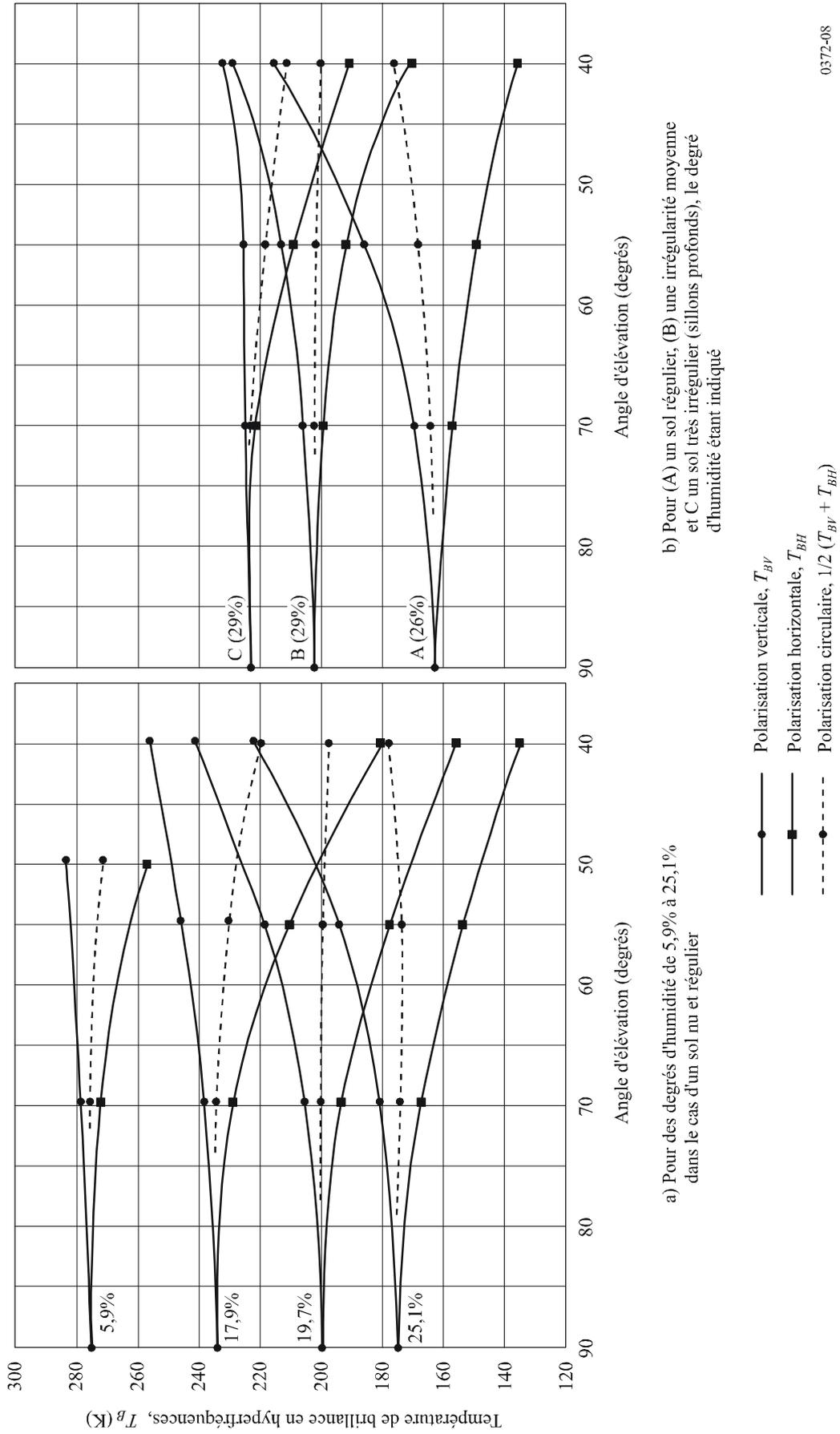
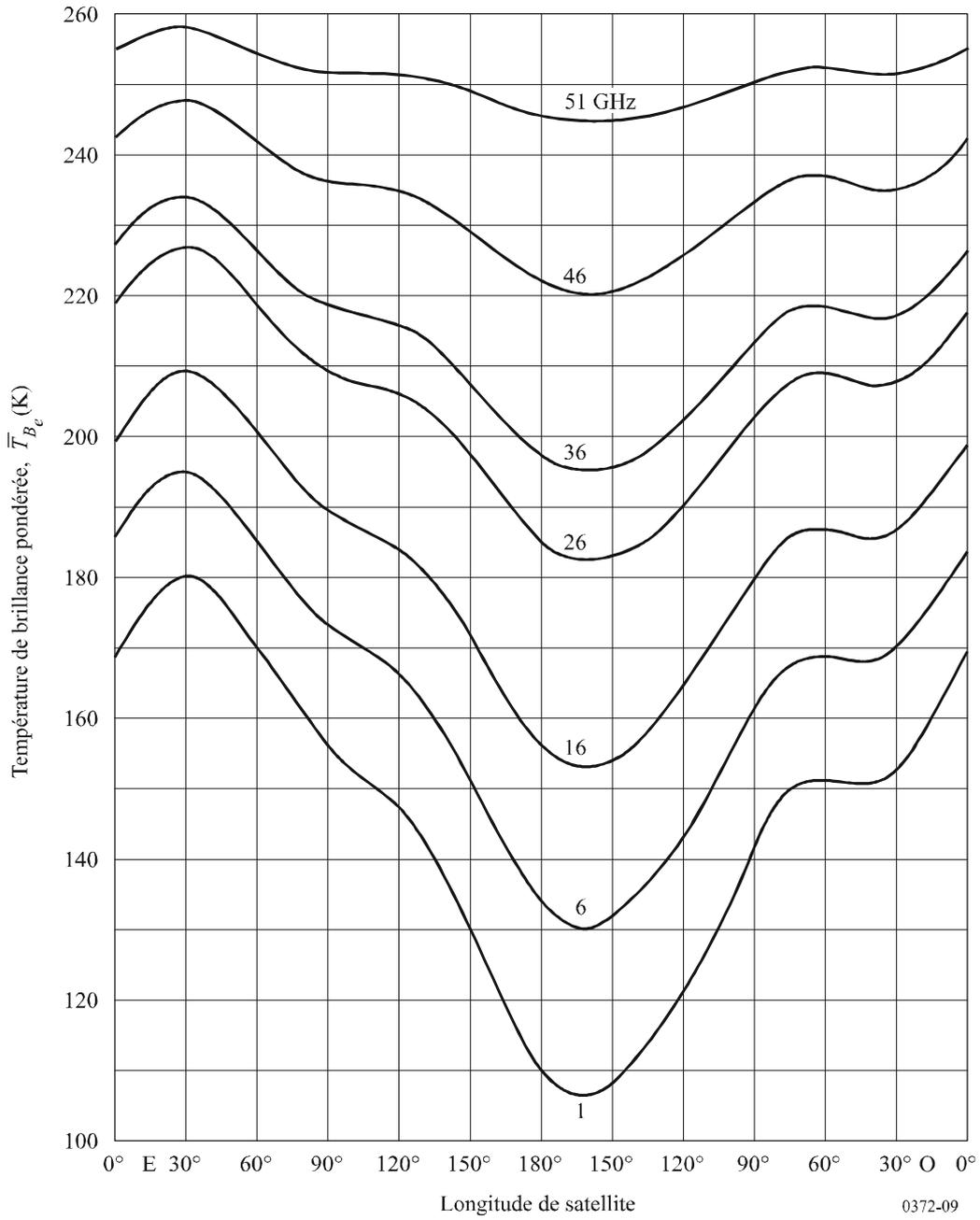


FIGURE 9

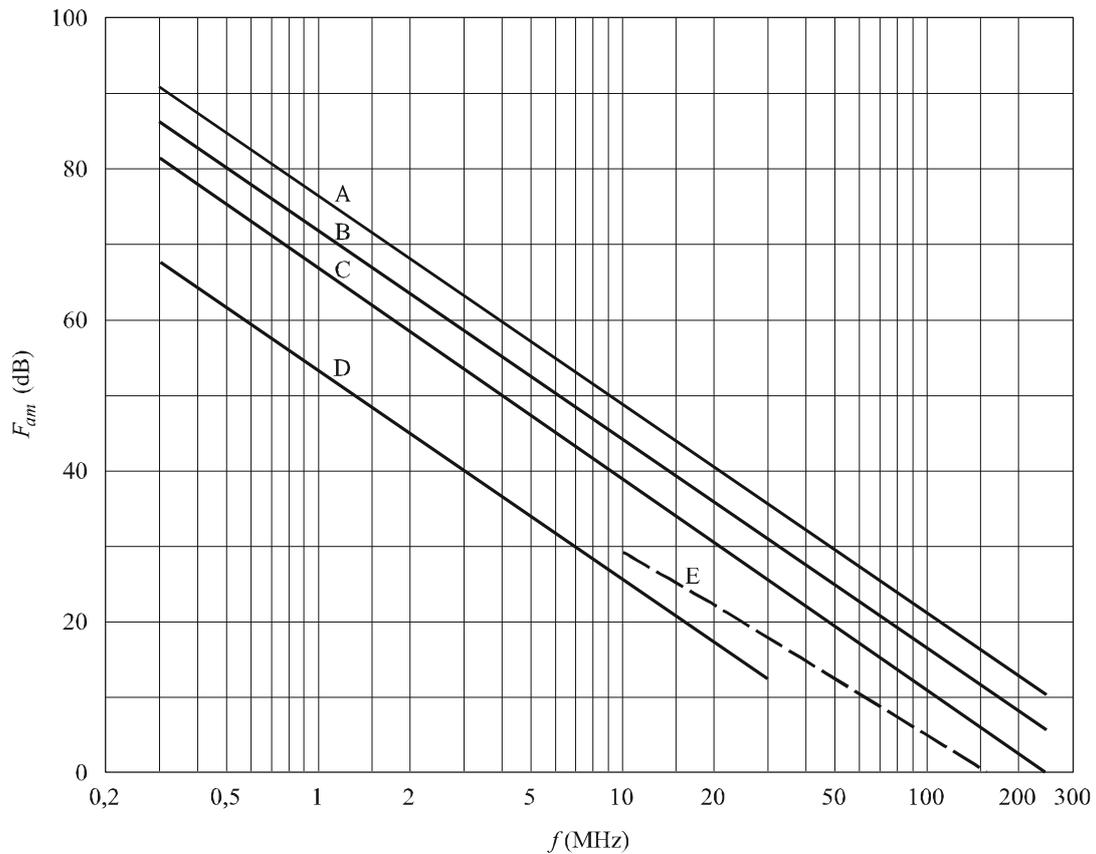
Température de brillance pondérée de la Terre en fonction de la longitude, vue d'un satellite géostationnaire, à des fréquences comprises entre 1 et 51 GHz



0372-09

FIGURE 10

Valeurs médianes de la puissance du bruit artificiel
mesurées avec une antenne unipolaire verticale courte sans pertes



Catégories d'environnement:

- Courbes A: quartier urbain
 B: quartier résidentiel
 C: zone rurale
 D: zone rurale calme
 E: bruit galactique (voir le § 6)

0372-10

Pour les catégories «quartier urbain», «quartier résidentiel» et «zone rurale» la moyenne, pour toute la gamme des fréquences ci-dessus, des écarts des déciles supérieur et inférieur D_u et D_l de la puissance de bruit en fonction du temps est donnée dans le Tableau 2. Ce tableau contient également les valeurs de l'écart en fonction de l'emplacement. On peut supposer que ces variations ne sont pas corrélées et que des distributions semi-log normales de part et d'autre de la médiane sont appropriées. Ces valeurs ont été mesurées au cours des années 1970 et peuvent évoluer avec le temps en fonction des activités susceptibles de générer des bruits artificiels.

TABLEAU 2
Valeurs des écarts des déciles du bruit artificiel

Catégorie	Décile	Variation en fonction du temps (dB)		Variation en fonction de l'emplacement (dB)	
		Supérieur	Inférieur	Supérieur	Inférieur
Quartier urbain	Supérieur	11,0		8,4	
	Inférieur		6,7		8,4
Quartier résidentiel	Supérieur	10,6		5,8	
	Inférieur		5,3		5,8
Zone rurale	Supérieur	9,2		6,8	
	Inférieur		4,6		6,8

Les informations ci-dessus relatives au bruit artificiel ont été recueillies au cours de mesures effectuées il y a quelques années. Des mesures effectuées en Europe en 2006/2007 ont confirmé dans l'ensemble les valeurs de bruit indiquées ci-dessus. Les résultats de ces mesures sont présentés dans les Tableaux 3 et 4.

TABLEAU 3
Mesures du bruit artificiel effectuées à l'extérieur en Europe

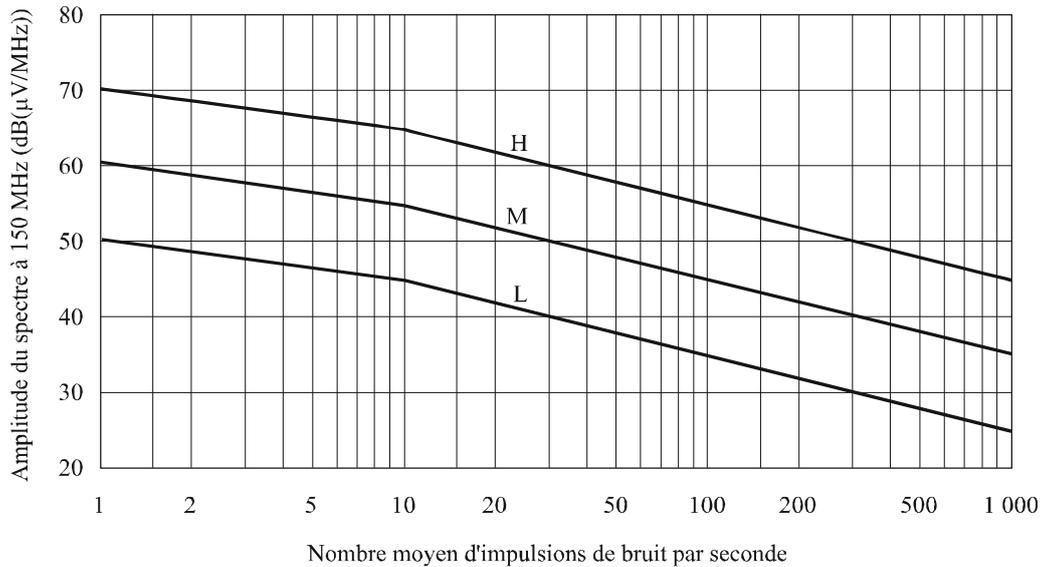
Fréquence (MHz)	Valeur médiane de bruit F_a (dB rel kT_0b)			Ecart pour le décile supérieur			Ecart pour le décile inférieur		
	Quartier urbain	Quartier résidentiel	Zone rurale	Quartier urbain	Quartier résidentiel	Zone rurale	Quartier urbain	Quartier résidentiel	Zone rurale
35	23	17	16	7	5	1	1,5	2	2
140	12	8	6	4	2	2	3	3,5	2
210	16	8	5	1	2	1	2	1	2
270	6	4	4	2	2	1	2	1	1
425	6	4	3	1	2	1	1	1	1

TABLEAU 4
Mesures du bruit artificiel effectuées à l'intérieur de bâtiments en Europe

Fréquence (MHz)	Valeur médiane de bruit F_a (dB rel kT_0b)		Ecart pour le décile supérieur		Ecart pour le décile inférieur	
	Quartier urbain	Quartier résidentiel	Quartier urbain	Quartier résidentiel	Quartier urbain	Quartier résidentiel
210	14	5	3	3	2	1
425	16	3	4	1	1	1

FIGURE 11

Répartition de l'amplitude du bruit dans une station de base (150 MHz)



Pour des fréquences autres que 150 MHz, relever ou abaisser les courbes H, M et L conformément à la formule qui suit:

$$A = C + 10 \log V - 28 \log f$$
où A est exprimée en dB(µV/MHz) pour 10 impulsions par seconde.

Courbes H: emplacement à niveau de bruit élevé ($V = 100$)
M: emplacement à niveau de bruit modéré ($V = 10$)
L: emplacement à faible niveau de bruit ($V = 1$)

0372-11

6 Température de brillance due aux sources extraterrestres

En règle générale, pour les communications à des fréquences inférieures à 2 GHz, il faut tenir compte du Soleil et de la galaxie (Voie lactée), qui se présente comme une large ceinture d'émission intense. Pour les fréquences jusqu'à 100 MHz environ, la valeur médiane du bruit pour le bruit galactique, en négligeant l'effet d'écran de l'ionosphère, est donnée par

$$F_{am} = 52 - 23 \log f \quad (12)$$

où:

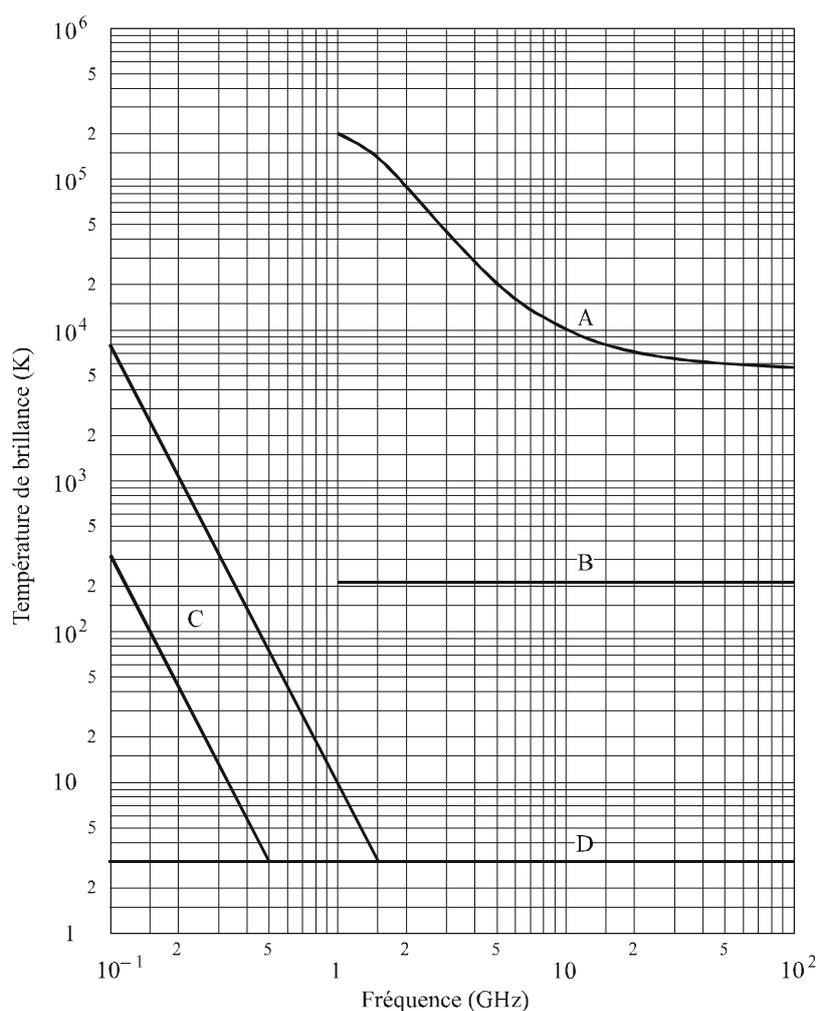
f : fréquence (MHz).

Dans de tels cas, la variation du bruit galactique pour les décibels supérieur et inférieur est de 2 dB.

On n'observe pas de bruit galactique à des fréquences inférieures à foF2 et la valeur de ce bruit est inférieure à celle qui est donnée par l'équation (12) pour des fréquences allant jusqu'à environ trois fois foF2.

Pour les fréquences supérieures à 2 GHz, il suffit de considérer le Soleil et quelques sources non thermiques très intenses telles que Cassiopée A, le Cygne A et X et la nébuleuse du Crabe, car la température de bruit du fond cosmique n'est égale qu'à 2,7 K et la Voie lactée se présente comme une zone étroite d'intensité plus forte. La température de brillance se situe, pour les sources extraterrestres communes de bruit, dans la gamme de fréquences 0,1-100 GHz, comme le montre la Fig. 12.

FIGURE 12
Sources de bruit extraterrestres



A: Soleil calme } Diamètre $\sim 0,5^\circ$
 B: Lune }
 C: gamme de bruits galactiques
 D: fond cosmique

0372-12

Les Fig. 13a, 13b, 13c et 13d donnent les courbes de la température de l'ensemble du ciel radioélectrique à 408 MHz lissées avec une résolution angulaire de 5° . Elles sont données en coordonnées équatoriales, déclinaison δ (latitude) et ascension droite α (heures dans le sens est autour de l'équateur depuis l'équinoxe vernal). Les contours sont gradués directement en écarts (K) par rapport à 2,7 K. La précision est de 1 K. Le pas entre les contours est:

- 2 K au-dessous de 60 K,
- 4 K de 60 K à 100 K,
- 10 K de 100 K à 200 K,
- 20 K au-dessus de 200 K.

Les flèches sur les lignes non cotées des contours sont pointées dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un minimum de la distribution de la brillance.

La courbe sinusoïdale en tiret entre $\pm 23,5^\circ$ dans les Fig. 13a et 13d définit l'écliptique qui traverse la Voie lactée près du centre galactique. Cela signifie que, si l'on observe un engin spatial dans l'espace interplanétaire, il pourrait être nécessaire d'en tenir compte. Les sources ponctuelles les plus

intenses sont indiquées par d'étroits pics de distribution de la température, tandis que les sources plus faibles sont moins apparentes en raison de la résolution angulaire limitée.

Le rayonnement du fond galactique varie avec la fréquence. Pour obtenir les températures de brillance sur d'autres fréquences f_i pour le rayonnement du fond, on utilise la formule

$$t_b(f_i) = t_b(f_0) (f_i/f_0)^{-2,75} + 2,7 \quad \text{K} \quad (13)$$

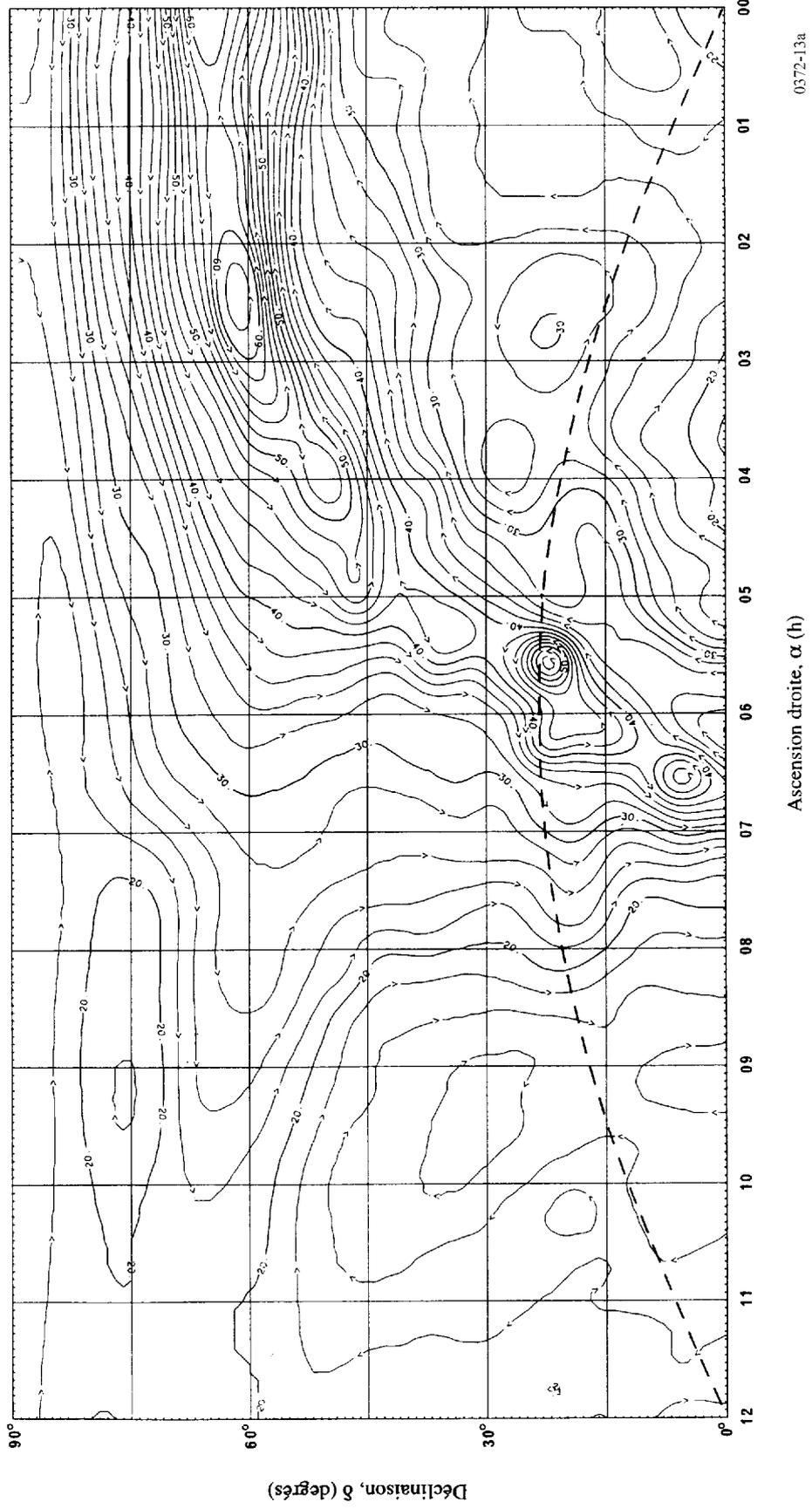
Ainsi, pour $t_b = 200$ K, $f_0 = 408$ MHz et $f_i = 1$ GHz, cette extrapolation donnerait:

$$t_b = 19,7 \quad \text{K}$$

Pour obtenir une extrapolation plus précise à l'aide de cette formule, il convient de tenir compte des variations de l'exposant sur toute la gamme de fréquences et pour tous les points du ciel. Pour les sources ponctuelles, la variation de l'intensité avec la fréquence dépend de leurs conditions physiques différentes.

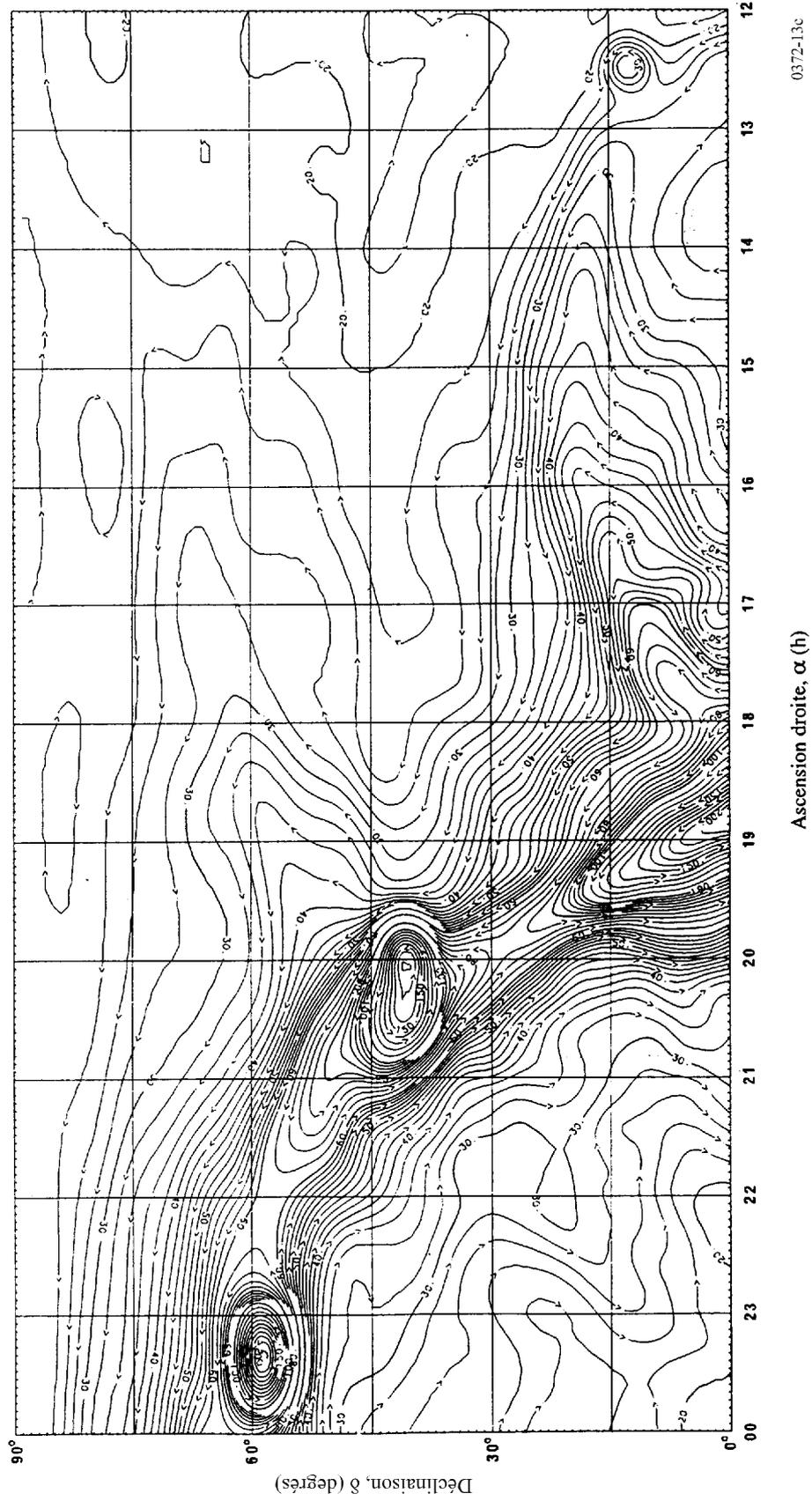
Pour les télécommunications par satellite en orbite géostationnaire, seule une partie du ciel présente un intérêt particulier, comme l'illustre la Fig. 14a. La Fig. 14b donne la gamme correspondante des déclinaisons ($\pm 8,7^\circ$) et indique les sources radioélectriques les plus intenses.

FIGURE 13a
Température du ciel radioélectrique à 408 MHz



Ascension droite: 0000 h-1200 h, déclinaison: 0° à $+90^\circ$, courbe en tiret: écliptique

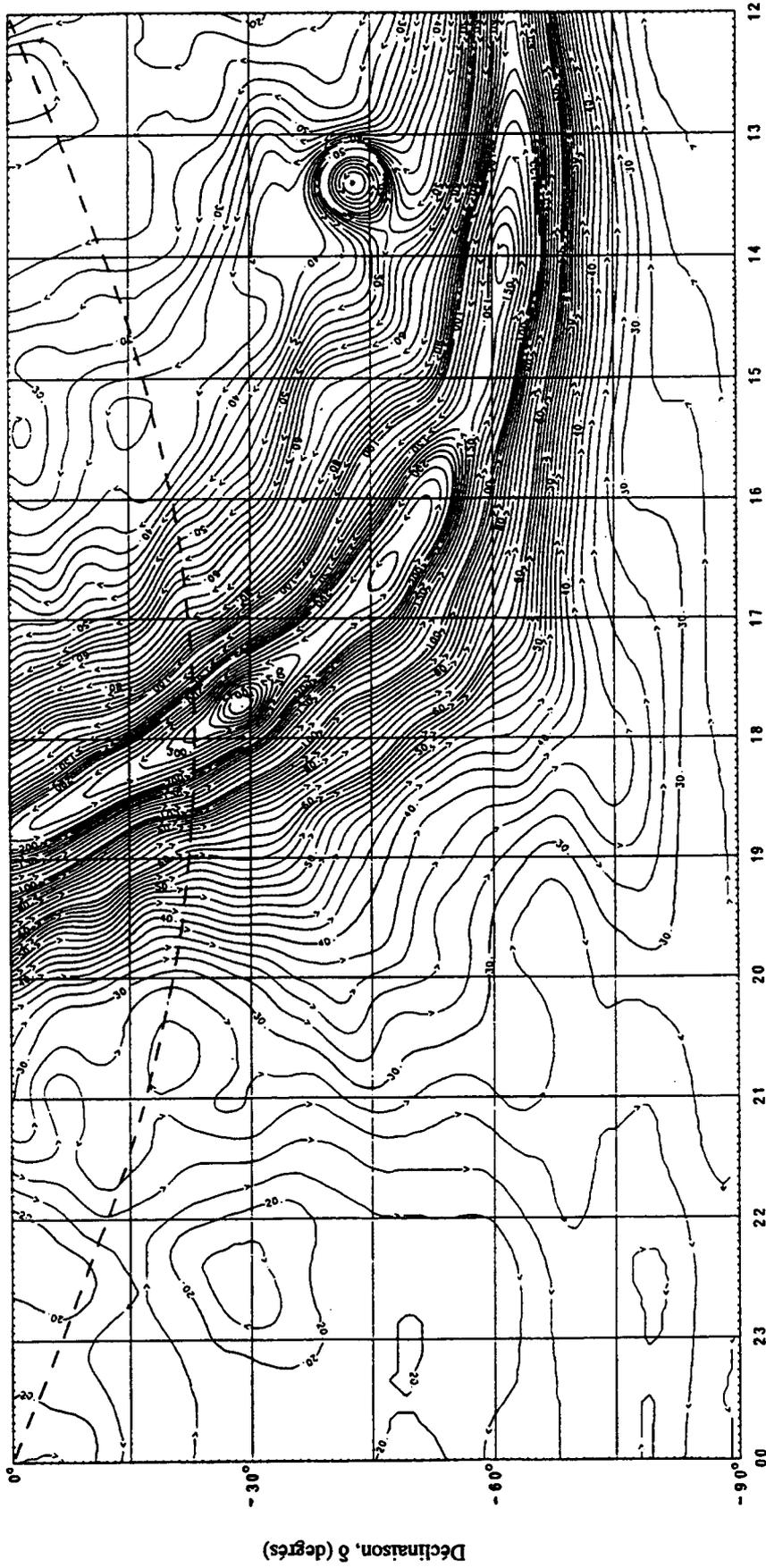
FIGURE 13c
Température du ciel radioélectrique à 408 MHz



0372-13c

Ascension droite: 1200 h-2400 h, déclinaison: 0° à +90°

FIGURE 13d
Température du ciel radioélectrique à 408 MHz

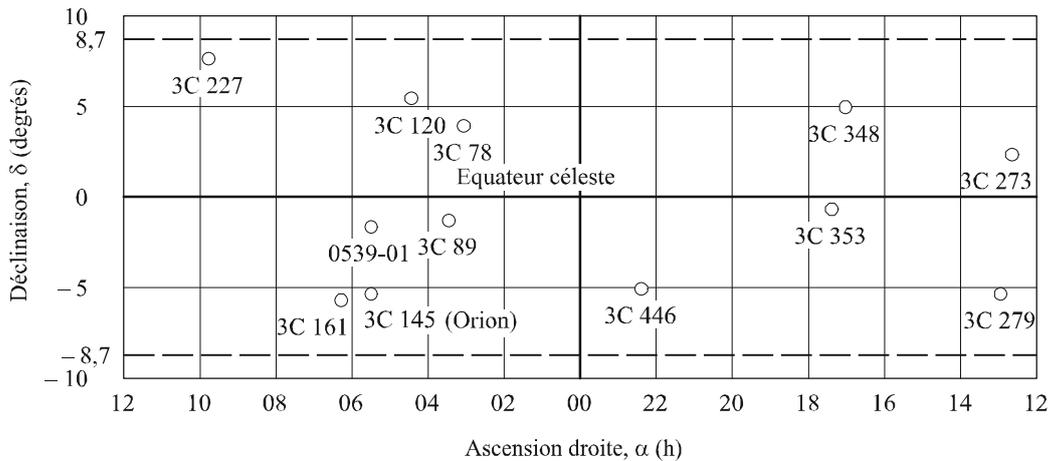
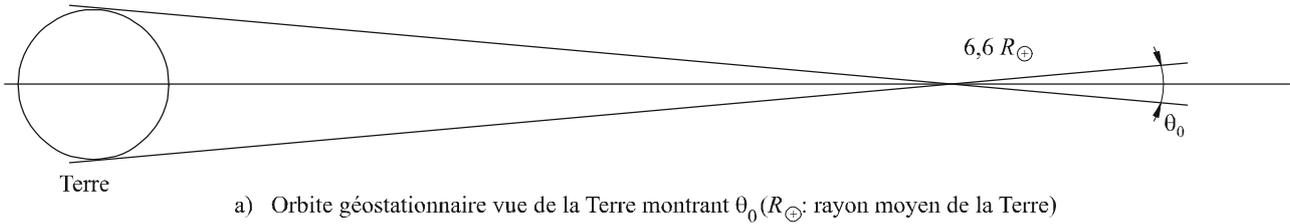


Ascension droite, α (h)

Ascension droite: 1200 h-2400 h, déclinaison: 0° à -90° , courbe en tiret: éclipitique

0372-13d

FIGURE 14
Partie du ciel qui présente un intérêt pour les télécommunications
par satellite en orbite géostationnaire



0372-14

Le Soleil constitue une source importante de bruit variable; sa température de bruit est d'environ 10^6 K entre 50 et 200 MHz et d'au moins 10^4 K à 10 GHz en période de faible activité solaire. Ces valeurs augmentent fortement dans les périodes de perturbations solaires. La température de brillance de la Lune est presque indépendante de la fréquence au-dessus de 1 GHz; elle varie entre environ 140 K (nouvelle Lune) et 280 K (pleine Lune). La trajectoire du Soleil est dans le plan de l'écliptique (trait tireté, Fig. 13). La Lune est observée sous une déclinaison de $\pm 5^\circ$ par rapport au plan de l'écliptique.

7 Bruit atmosphérique dû aux éclairs

Les Fig. 15a à 38a présentent des cartes mondiales indiquant les valeurs médianes attendues du bruit de fond atmosphérique radioélectrique, F_{am} (dB) au-dessus de $k T_0 b$, à la fréquence de 1 MHz, pour chaque saison, pour chaque tranche de 4 h, en heure locale. La variation de F_{am} en fonction de la fréquence pour chaque tranche horaire saisonnière est indiquée aux Fig. 15b à 38b et la variation en fonction de la fréquence des autres paramètres de bruit est donnée dans les Fig. 15c à 38c. Pour ces évaluations du bruit atmosphérique, on a utilisé une antenne de référence unipolaire verticale courte placée au-dessus d'une surface conductrice plane. Le champ incident peut être calculé, voir le § 2.

On remarquera que l'on a indiqué des valeurs de bruit atmosphérique inférieures aux niveaux attendus du bruit artificiel et du bruit galactique. Ces valeurs ne devraient être utilisées qu'avec prudence car elles ne représentent que des évaluations du bruit atmosphérique qui serait enregistré

en l'absence d'autres bruits. Un examen des données montre cependant que des niveaux aussi faibles ont été effectivement mesurés, en de rares occasions.

Le bruit atmosphérique dû aux éclairs n'est généralement pas de nature gaussienne. Il peut être important de connaître sa fonction de densité de probabilité pour déterminer la qualité de fonctionnement d'un système numérique. La distribution de probabilité d'amplitude (DPA) de ce type de bruit est paramétrée par l'écart de tension V_d , qui est le rapport de la valeur efficace sur la valeur moyenne de la tension d'enveloppe de bruit.

Les courbes DPA correspondant à différentes valeurs de V_d , sont représentées à la Fig. 39, dans laquelle la valeur efficace de la tension d'enveloppe, A_{eff} , est prise comme référence. Les valeurs mesurées de V_d varient par rapport à la valeur médiane prévue, V_{dm} , et leur variation est donnée par σV_d . Les courbes DPA peuvent être utilisées pour des largeurs de bande très diverses. Les estimations de V_d sont données (Fig. 15c à 38c) pour une largeur de bande de 200 Hz. La valeur correspondante de V_{dm} pour d'autres largeurs données de bande peut être déduite de la Fig. 40. La Fig. 40 n'est valable que pour les ondes hectométriques et décamétriques, mais l'extrapolation de ces résultats aux fréquences plus basses (par exemple, kilométriques, myriamétriques et hectokilométriques) nécessite la plus grande prudence.

Les Figures sont utilisées de la manière suivante. La valeur de F_{am} pour 1 MHz est obtenue sur les cartes de bruit (Fig. 15a à 38a) pour la saison considérée. Cette valeur étant prise pour spécifier le niveau de bruit, on obtient la valeur de F_{am} pour la fréquence voulue à partir des courbes de fréquences (Fig. 15b à 38b). Les paramètres de variabilité $\sigma_{F_{am}}$, D_u , σD_u , etc., sont obtenus, pour la fréquence voulue, à partir des Fig. 15c à 38c. On peut obtenir les valeurs de D et σ_D pour d'autres pourcentages de temps en prenant pour hypothèse des distributions semi-log normales de part et d'autre des valeurs médianes.

8 Combinaison de bruits provenant de plusieurs sources

Il y a des cas où l'on a besoin de tenir compte de plusieurs types de bruit d'importance comparable. Cela peut être vrai à n'importe quelle fréquence en général mais on observe le plus souvent ce phénomène dans les ondes décamétriques où le bruit atmosphérique, le bruit artificiel et le bruit galactique peuvent être d'importance comparable (voir la Fig. 2, 10 MHz par exemple).

Les valeurs de bruit pour chacune des sources de bruit définies ci-dessus, F_a , (dB) sont supposées avoir une distribution représentée par deux distributions semi-normales de part et d'autre de la valeur médiane F_{am} . La distribution semi-normale inférieure a un écart type σ_l ($= D_l / 1,282$) au-dessous de la médiane et la distribution semi-normale supérieure a un écart type σ_u ($= D_u / 1,282$) au-dessus de la médiane. Les facteurs de bruit correspondants, $f_a(W)$ ont des distributions log-normales de part et d'autre de la médiane.

La médiane, F_{amT} , et l'écart type, σ_T , de la valeur de bruit pour la somme de deux processus de bruit ou plus sont donnés par les équations suivantes:

$$F_{amT} = c \left[\ln(\alpha_T) - \frac{\sigma_T^2}{2c^2} \right] \quad \text{dB} \quad (14)$$

$$\sigma_T = c \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T^2} \right)} \quad \text{dB} \quad (15)$$

où:

$$c = 10/\ln(10) = 4,343 \quad (16)$$

$$\alpha_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \exp \left[\frac{F_{ami}}{c} + \frac{\sigma_i^2}{2c^2} \right] \quad \text{W} \quad (17)$$

$$\beta_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \left[\exp \left(\frac{\sigma_i^2}{c^2} \right) - 1 \right] \quad \text{W}^2 \quad (18)$$

et F_{ami} et σ_i sont la médiane et l'écart type des valeurs de bruit pour les différentes sources de bruit. Pour le bruit atmosphérique, ces valeurs sont extraites des Figs. 15 à 38. Pour le bruit artificiel, elles sont extraites de la Fig. 10 et du Tableau 2. Pour le bruit galactique, F_{am} est donné par l'équation (12) et σ_i est mis à 1,56 dB (= 3/1,282).

L'écart pour le décile supérieur, D_{uT} , de la valeur de bruit pour la somme de deux processus de bruit ou plus est donné par l'équation suivante:

$$D_{uT} = 1,282 \sigma_T \quad \text{dB} \quad (19)$$

où σ_T est calculé en utilisant les écarts du décile supérieur des composantes de bruit pour calculer σ_i (= $D_u/1,282$) dans les équations (17) et (18).

L'écart pour le décile inférieur, D_{lT} , de la valeur de bruit pour la somme de deux processus de bruit ou plus est donné par l'équation suivante:

$$D_{lT} = 1,282 \sigma_T \quad \text{dB} \quad (20)$$

où σ_T est calculé en utilisant les écarts du décile inférieur des composantes de bruit pour calculer σ_i (= $D_l/1,282$) dans les équations (17) et (18).

Lorsqu'un écart pour le décile supérieur de la valeur de bruit pour au moins une composante de bruit dépasse 12 dB, l'écart σ_T calculé par les équations (15) à (18), en utilisant les écarts du décile supérieur des composantes de bruit, devrait être limité à une valeur maximale de:

$$\sigma_T = c \sqrt{2 \ln \left(\frac{\alpha_T}{\gamma_T} \right)} \quad \text{dB} \quad (21)$$

où γ_T est le facteur de bruit correspondant à la somme des puissances des différents facteurs de bruit médian:

$$\gamma_T = \sum_{i=1}^n \exp \left(\frac{F_{ami}}{c} \right) \quad \text{W} \quad (22)$$

De même, lorsqu'un écart pour le décile inférieur de la valeur de bruit pour au moins une composante de bruit dépasse 12 dB, l'écart σ_T calculé par les équations (15) à (18), en utilisant les écarts du décile inférieur des composantes de bruit, devrait être limité à la valeur maximale indiquée par l'équation (21).

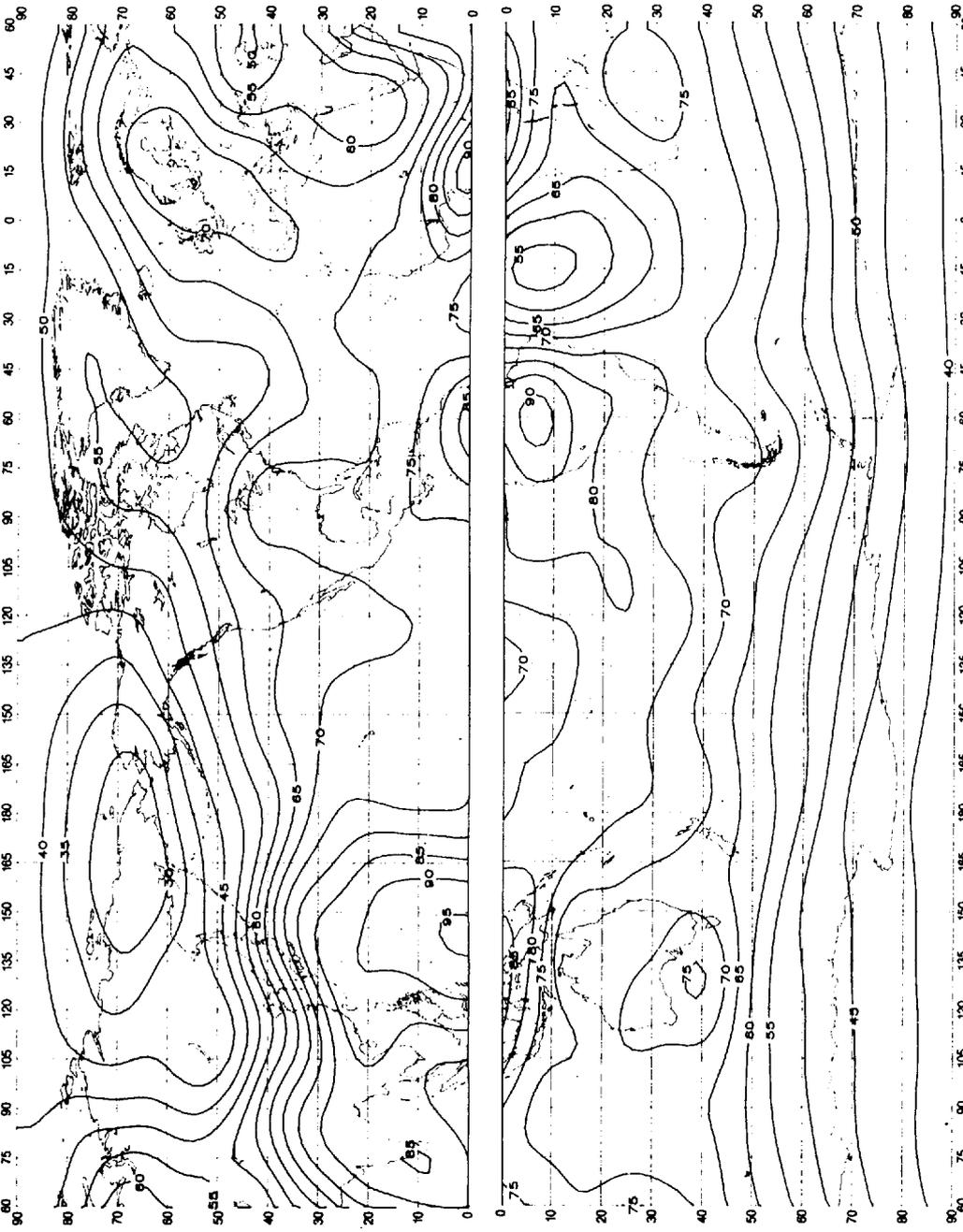


FIGURE 15a – Valeurs attendues du bruit atmospherique radioelectrique, F_{amb} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Hiver: 0000-0400 heure locale)

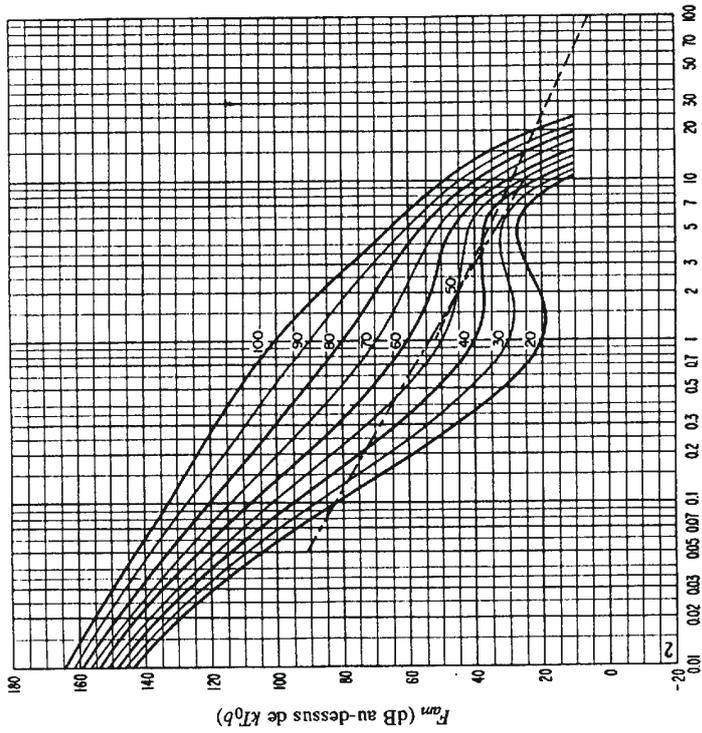


FIGURE 15b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Hiver; 0000-0400 heure locale)

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

note 1 — Pour des raisons d'ordre pratique, le point anglais a été utilisé au lieu de virgule décimale dans les Figures 15-38.

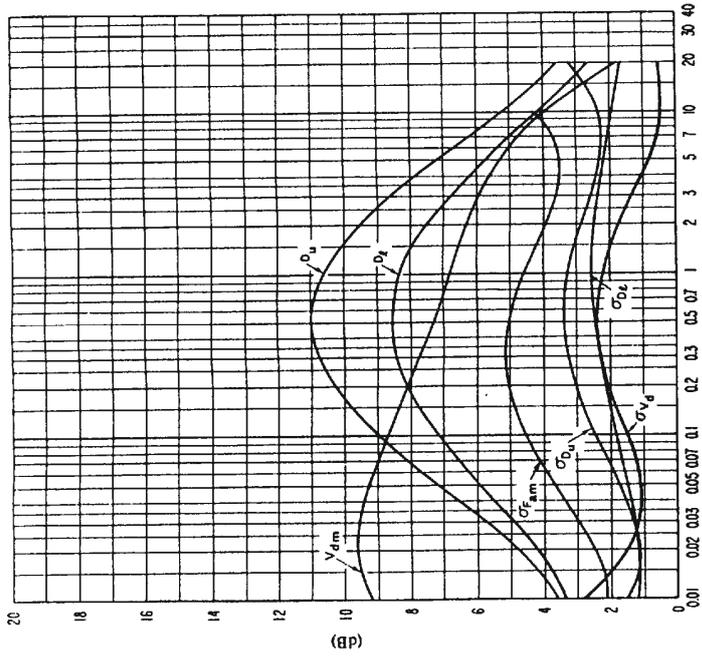


FIGURE 15c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Hiver; 0000-0400 heure locale)

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

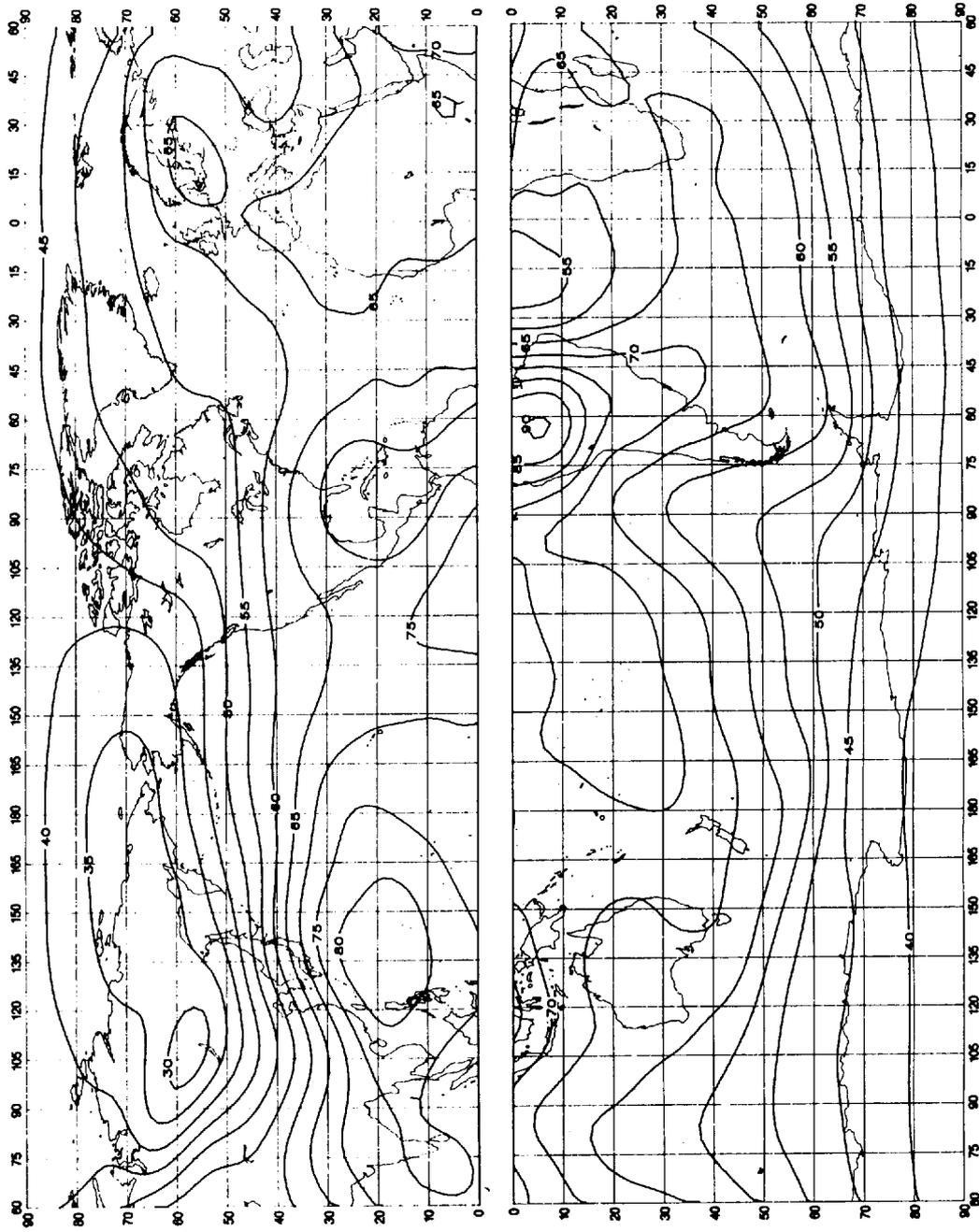


FIGURE 16a - Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{dm} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Hiver; 0400-0800 heure locale)

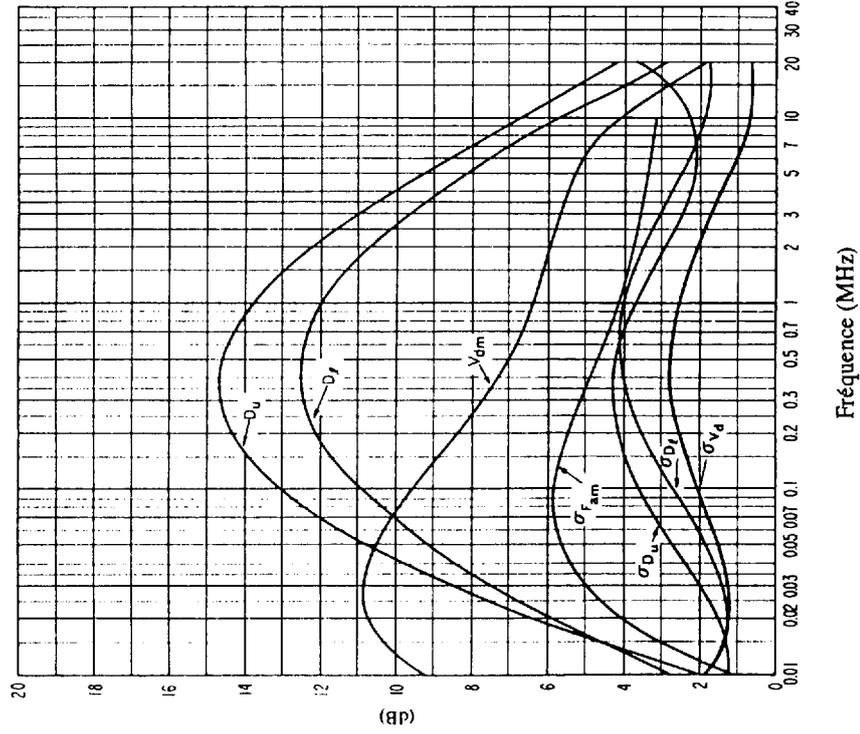


FIGURE 16c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Hiver; 0400-0800 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-16b

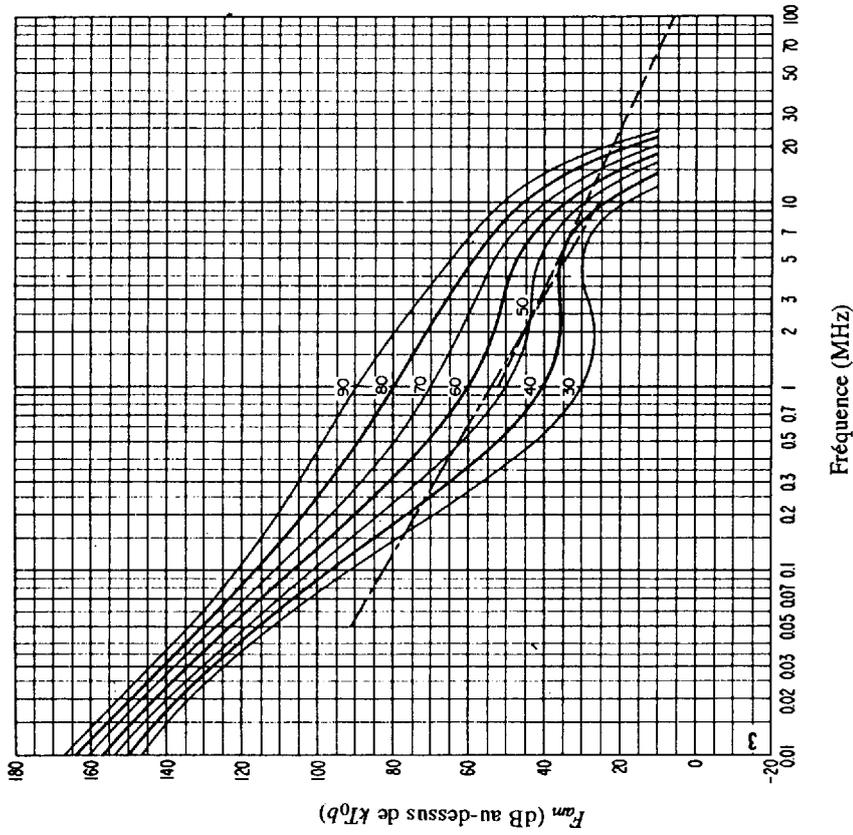


FIGURE 16b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Hiver; 0400-0800 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

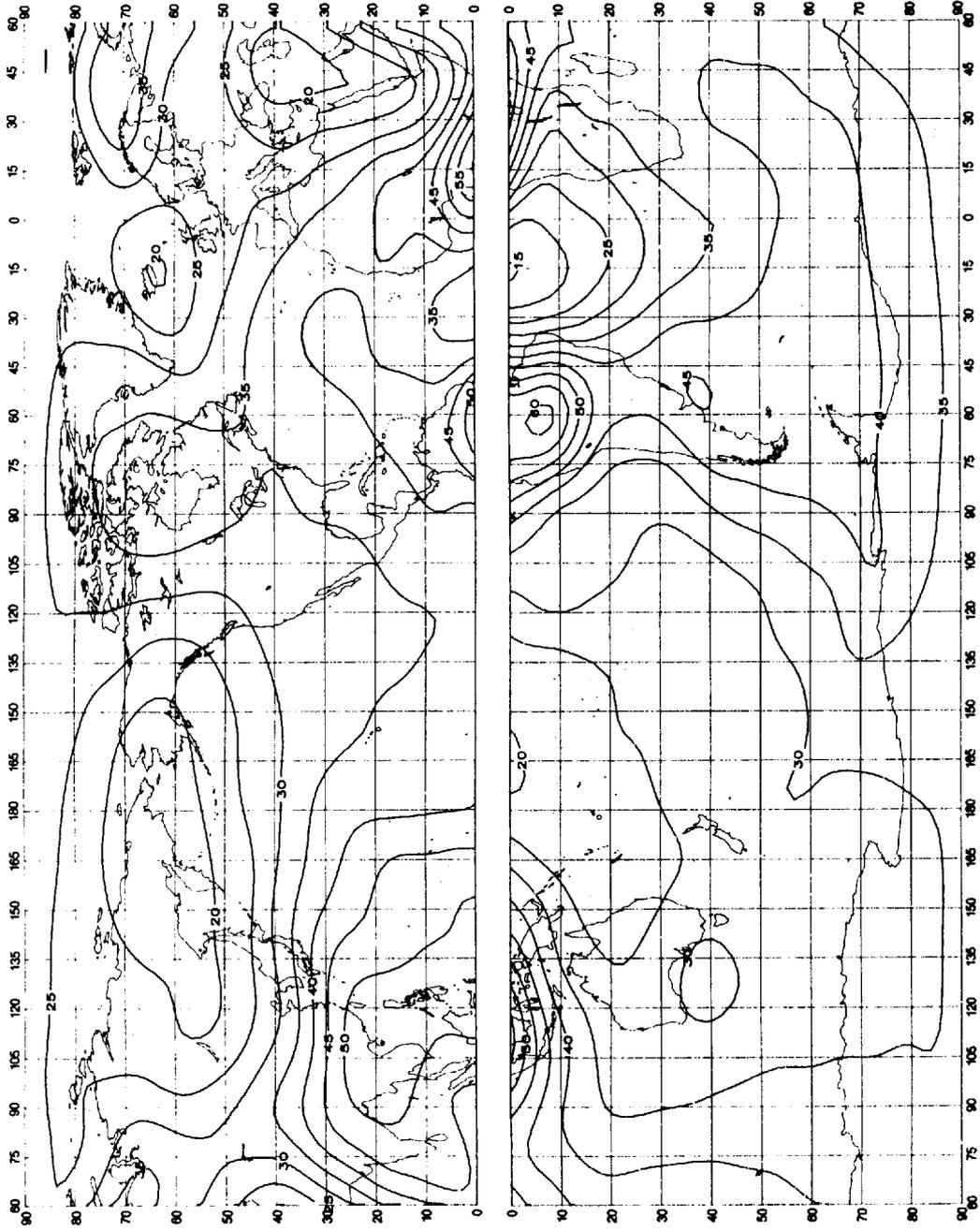


FIGURE 17a -- Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Hiver; 0800-1200 heure locale)

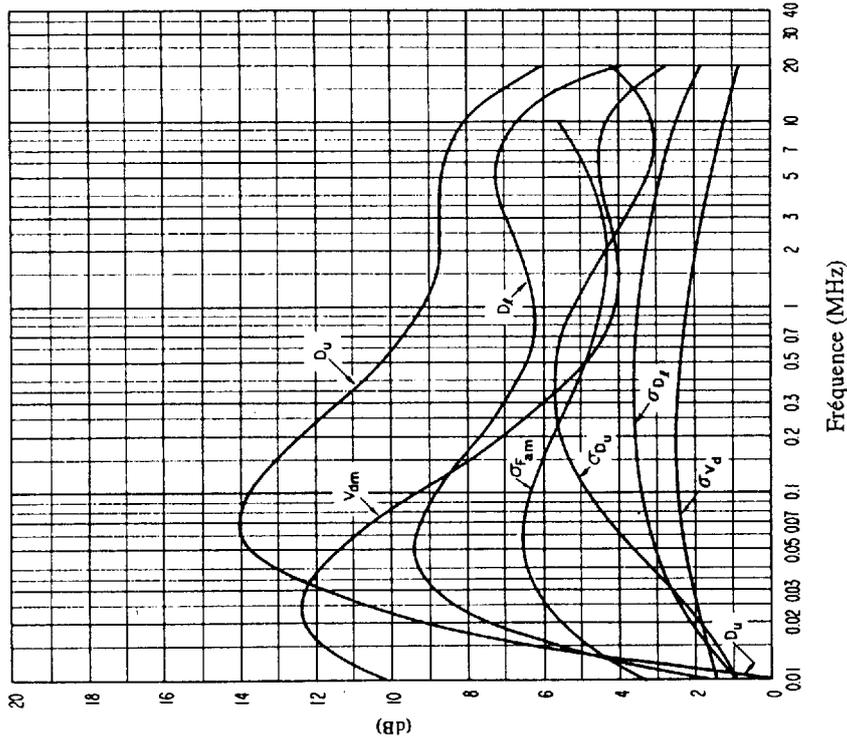


FIGURE 17c - Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Hiver; 0800-1200 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

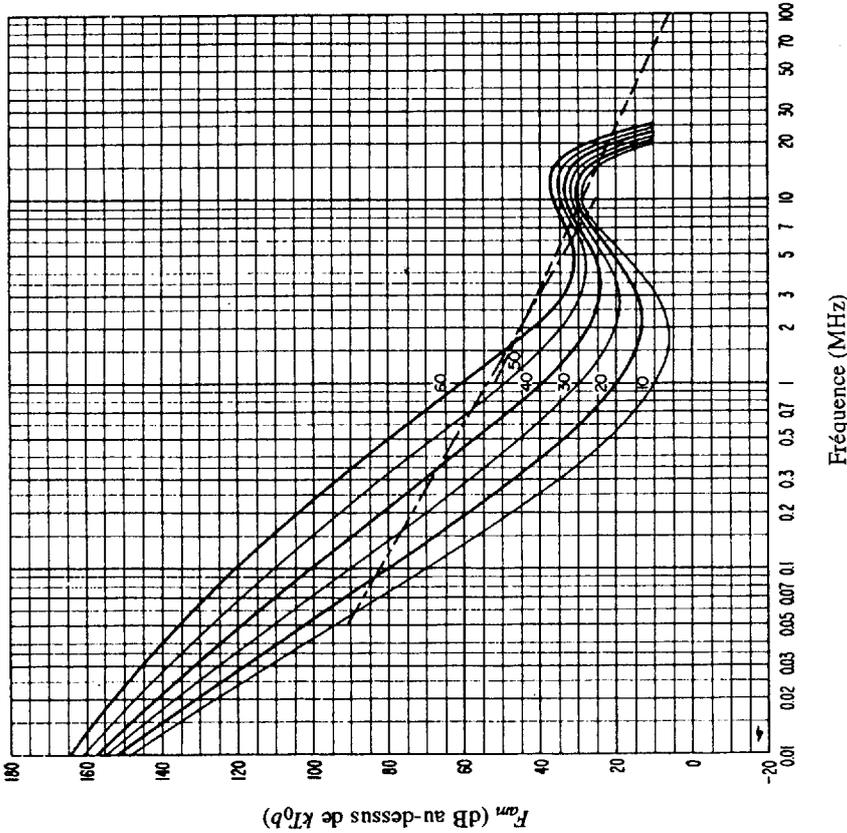


FIGURE 17b - Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Hiver; 0800-1200 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

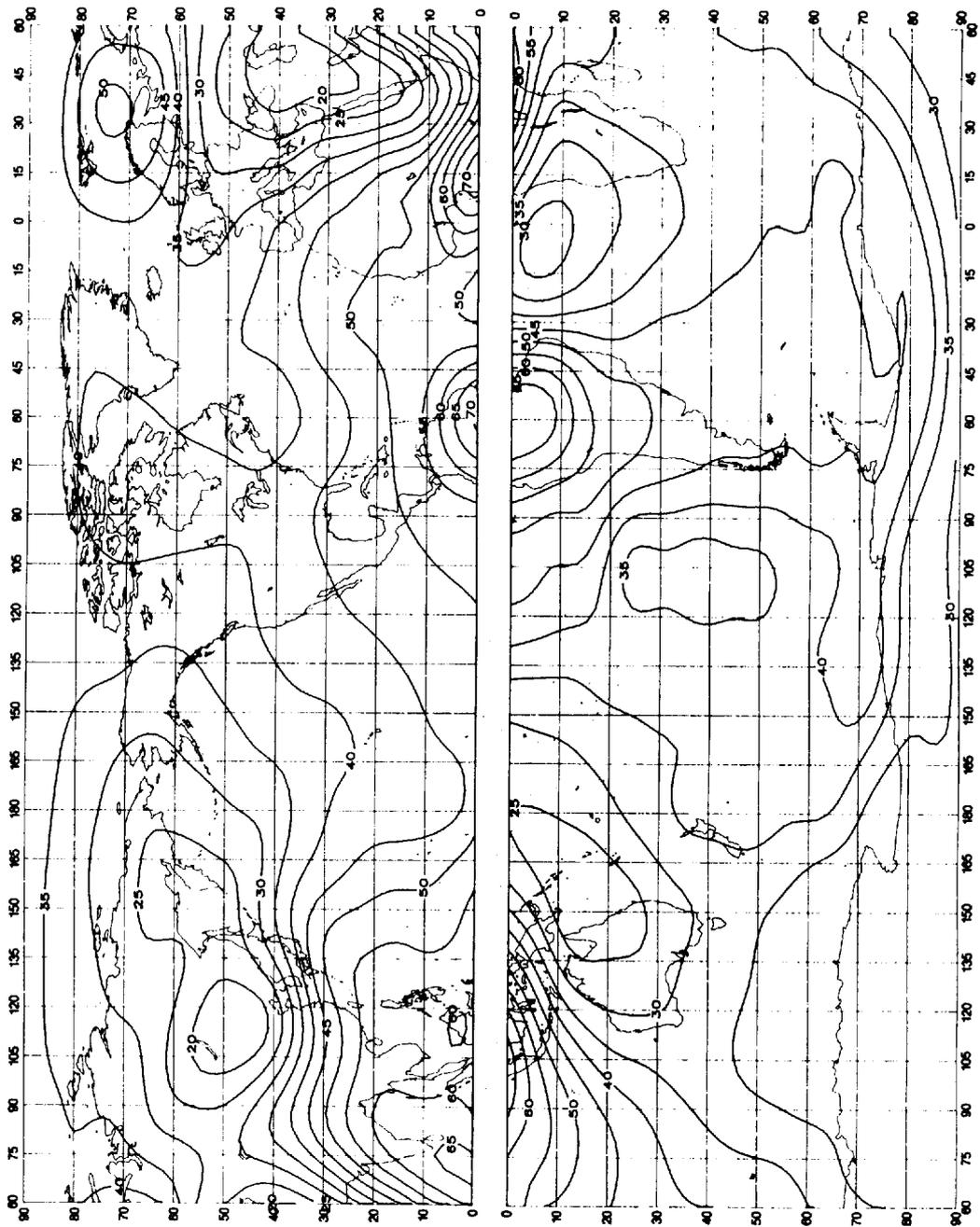


FIGURE 18a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{fm} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Hiver; 1200-1600 heure locale)

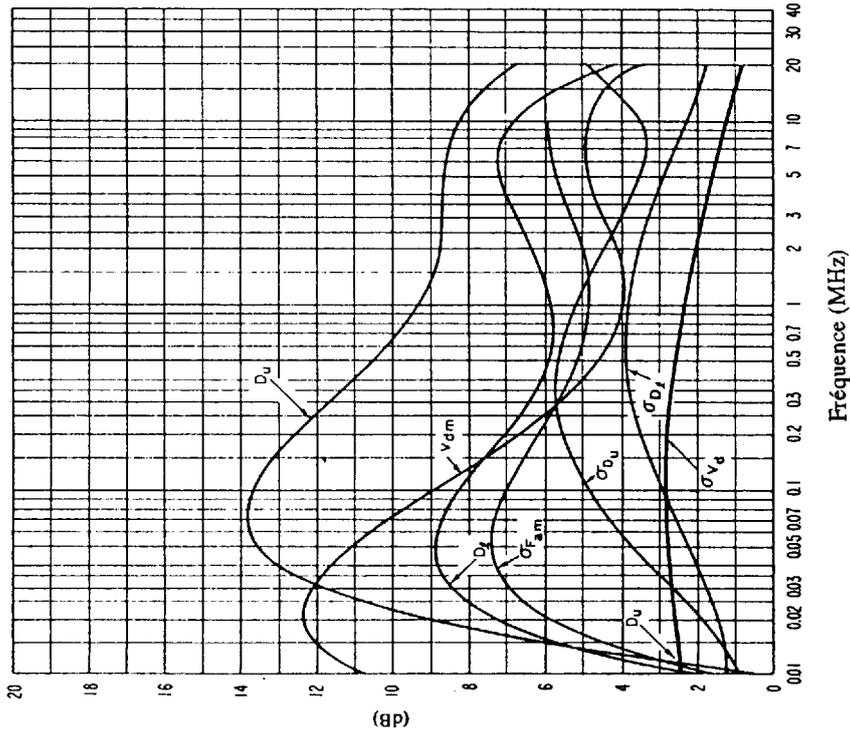


FIGURE 18c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Hiver; 1200-1600 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-18b

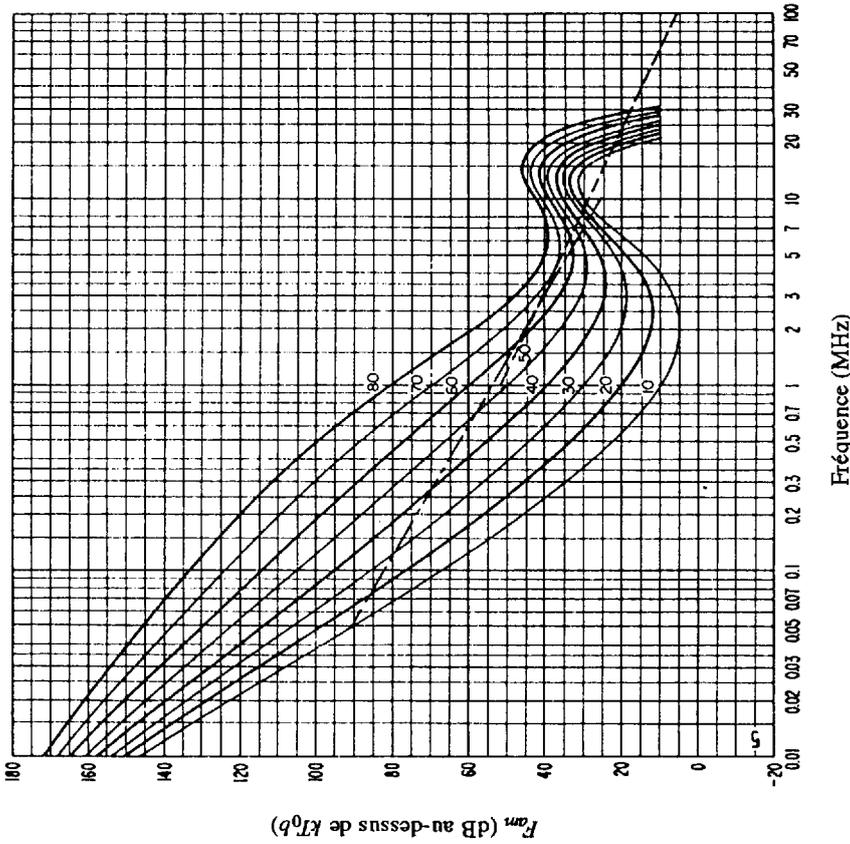


FIGURE 18b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Hiver; 1200-1600 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

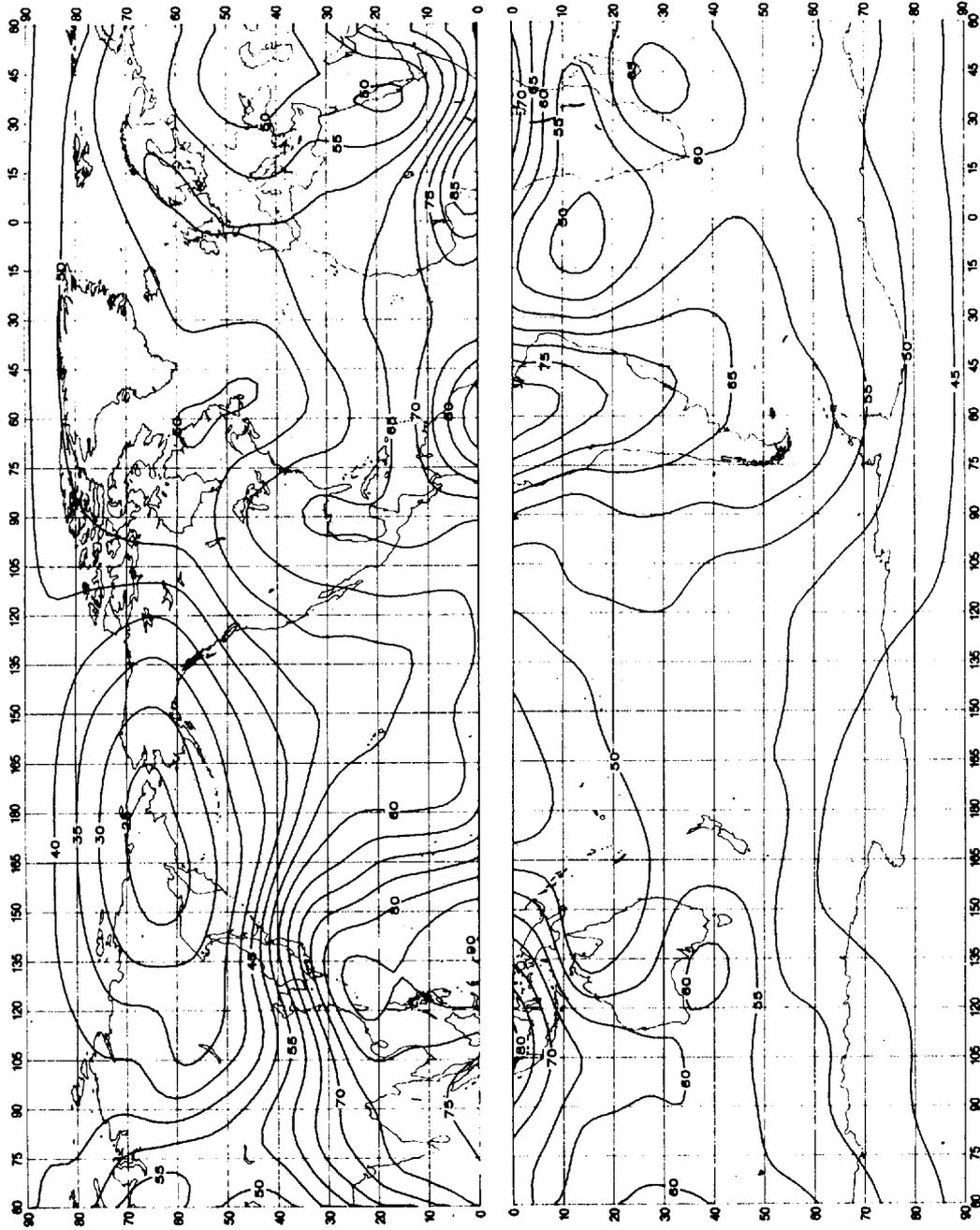


FIGURE 19a - Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Hiver; 1600-2000 heure locale)

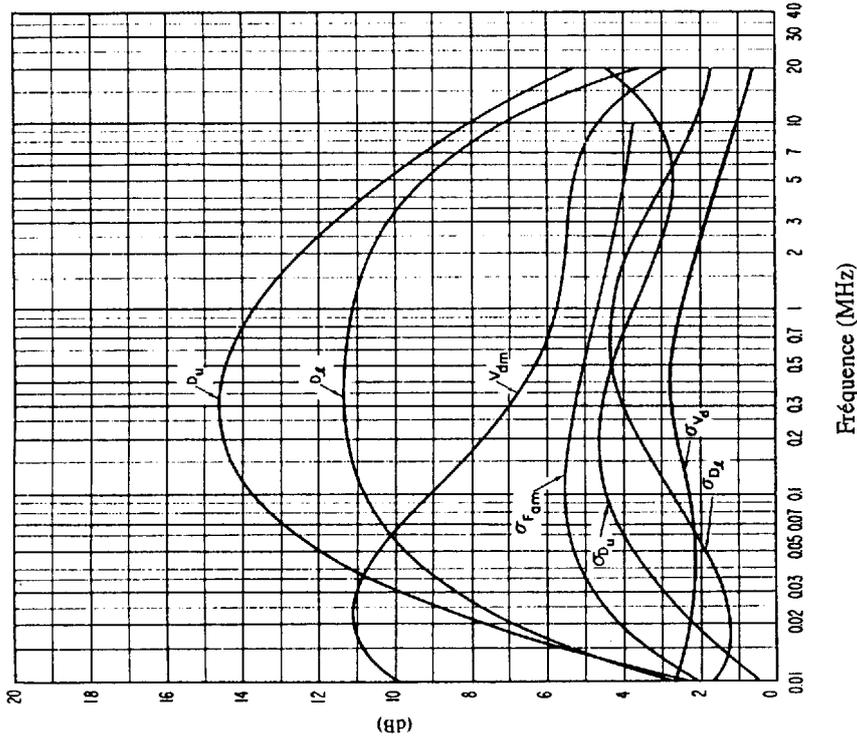


FIGURE 19c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Hiver; 1600-2000 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

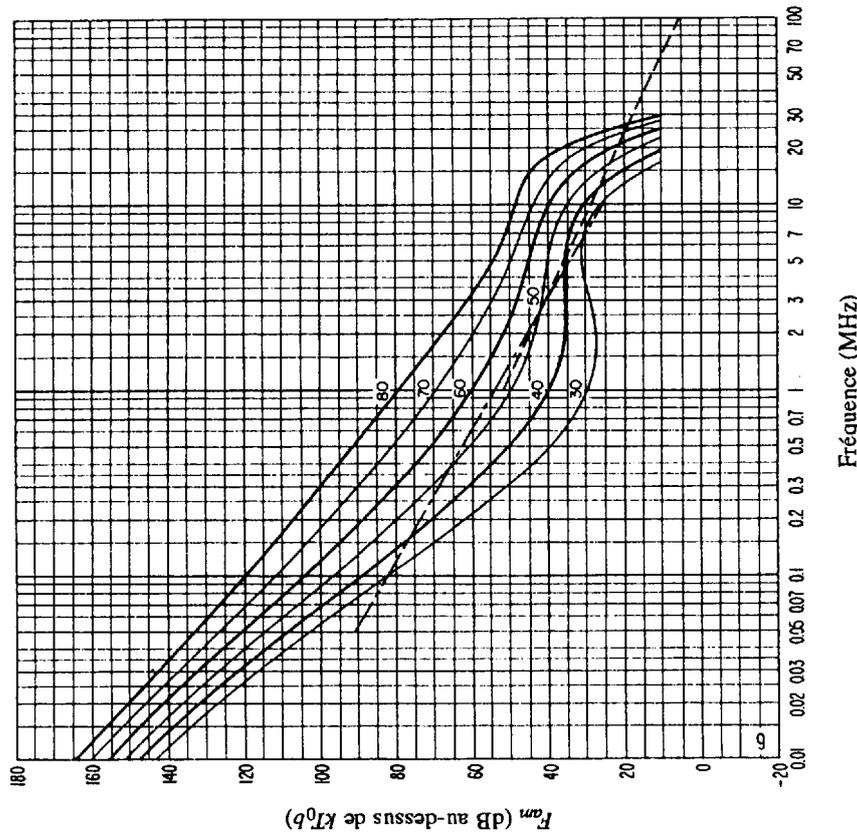


FIGURE 19b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Hiver; 1600-2000 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

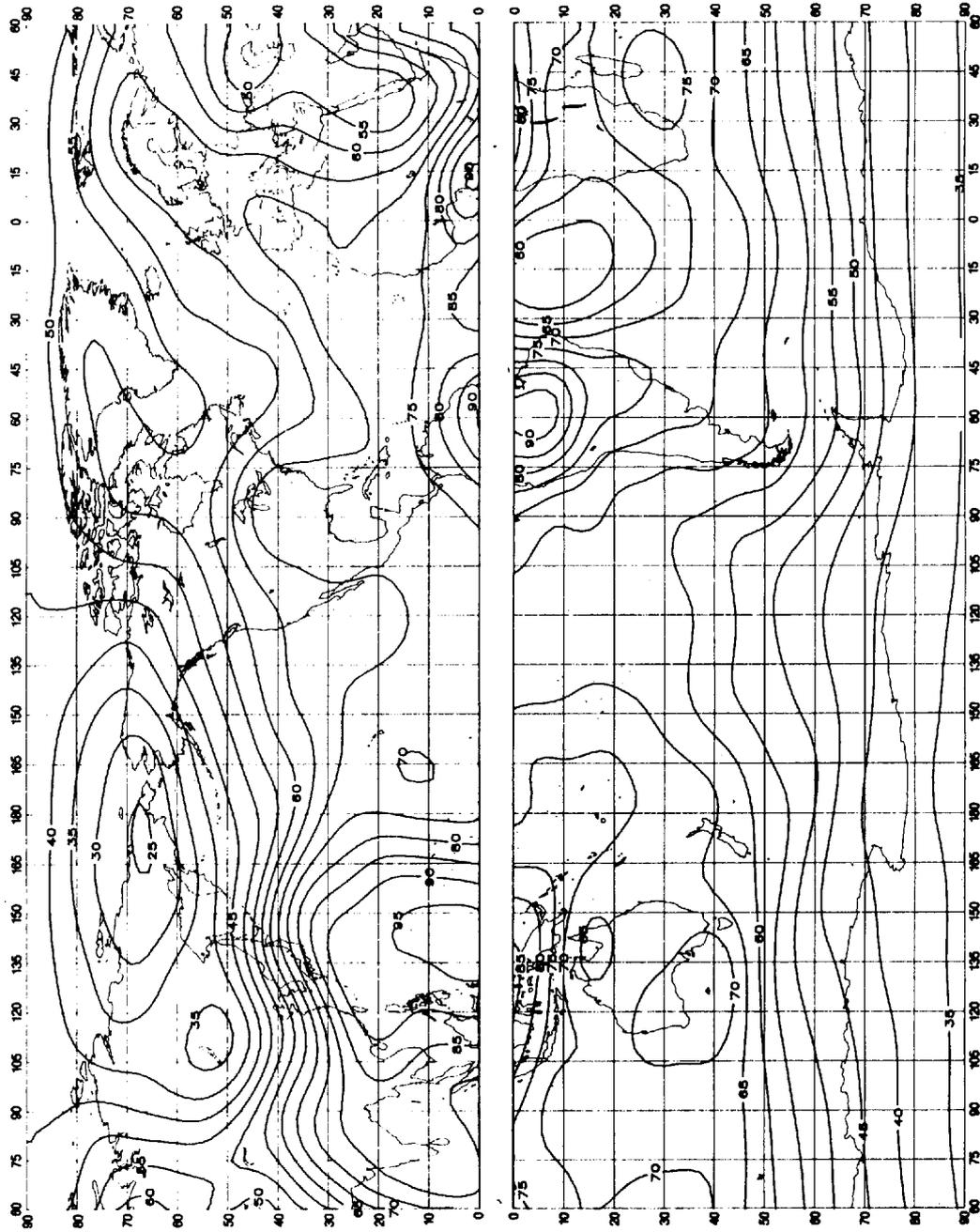


FIGURE 20a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Hiver, 2000-2400 heure locale)

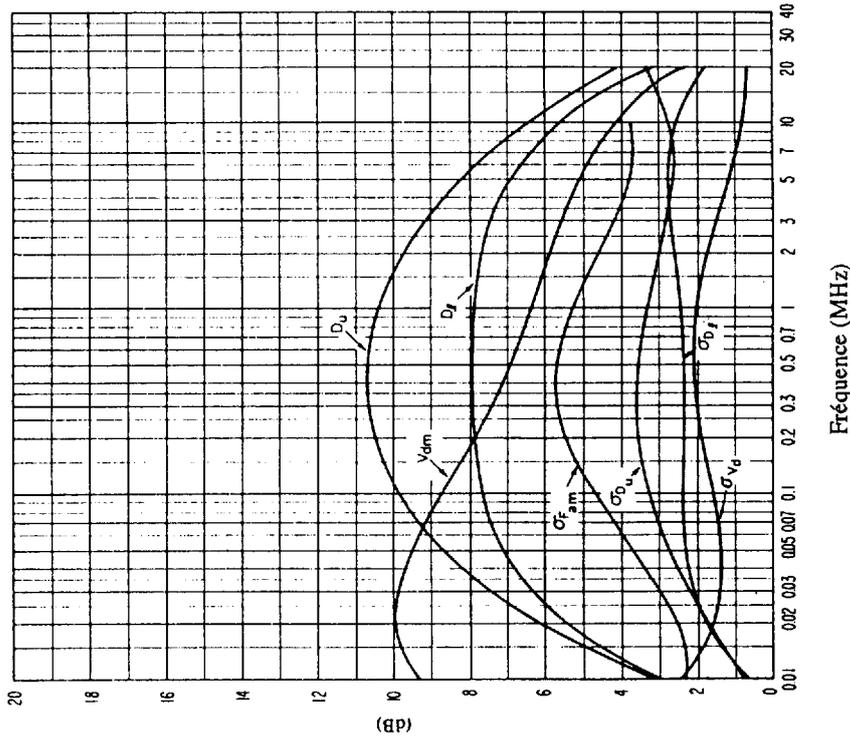


FIGURE 20c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Hiver; 2000-2400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-20b

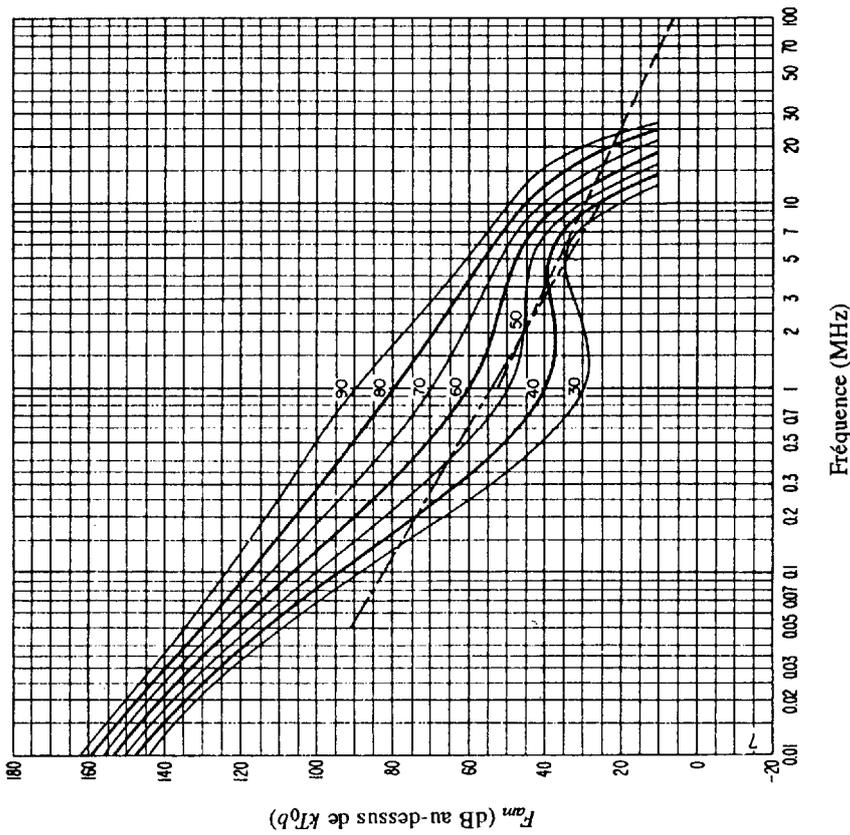


FIGURE 20b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Hiver; 2000-2400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

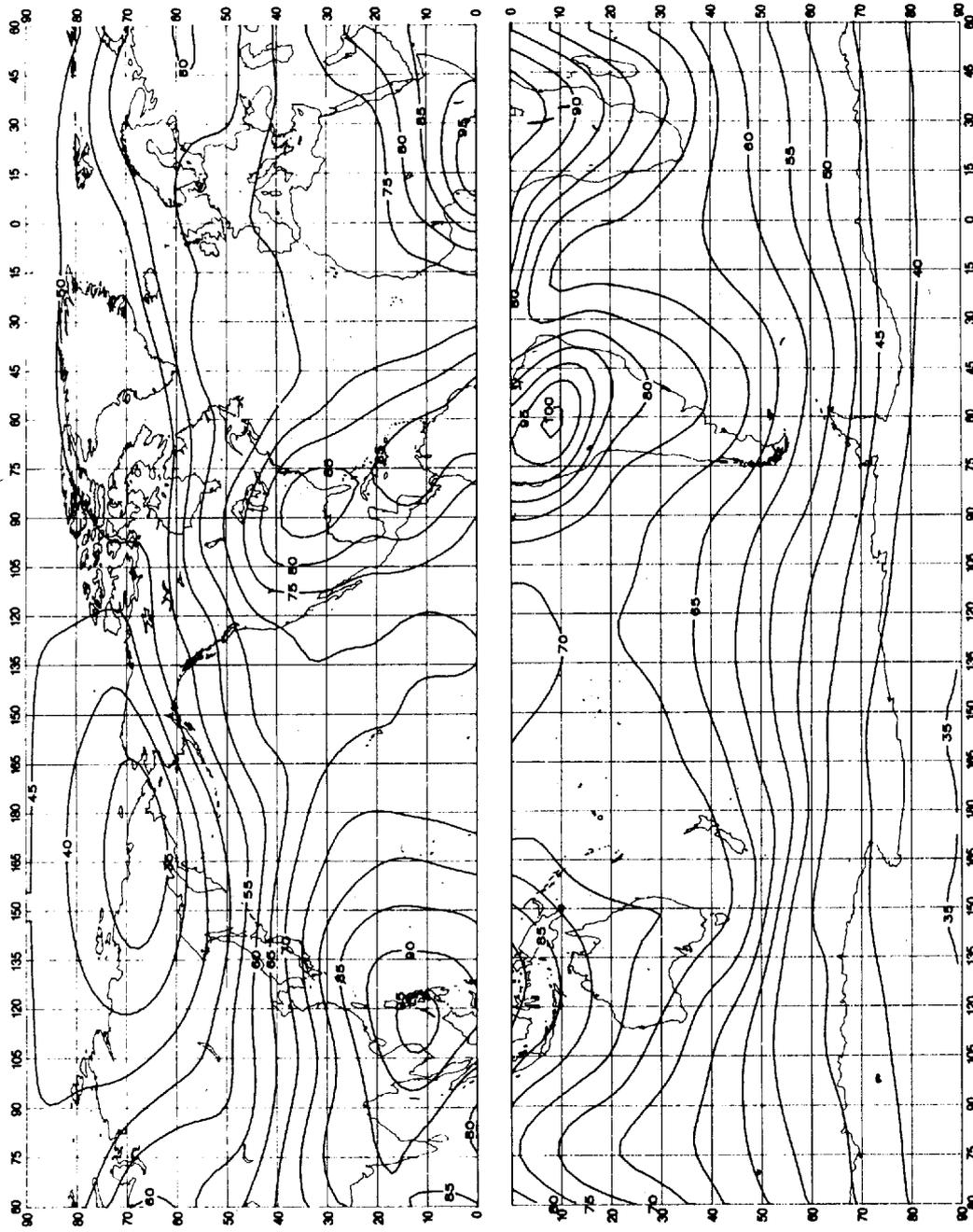


FIGURE 21a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Printemps; 0000-0400 heure locale)

0372-21a

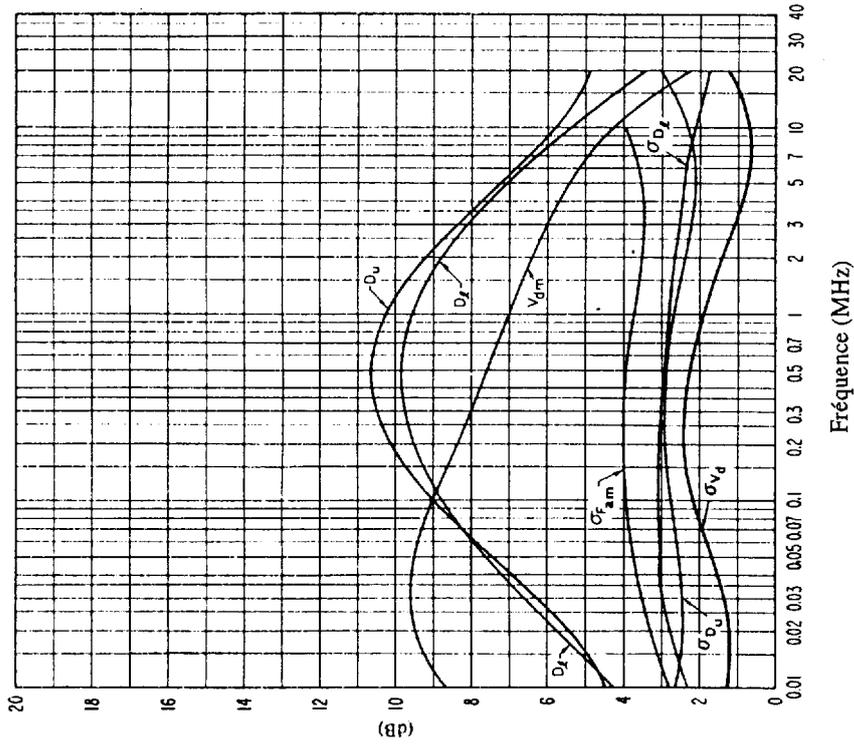


FIGURE 21c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Printemps; 0000-0400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-21b

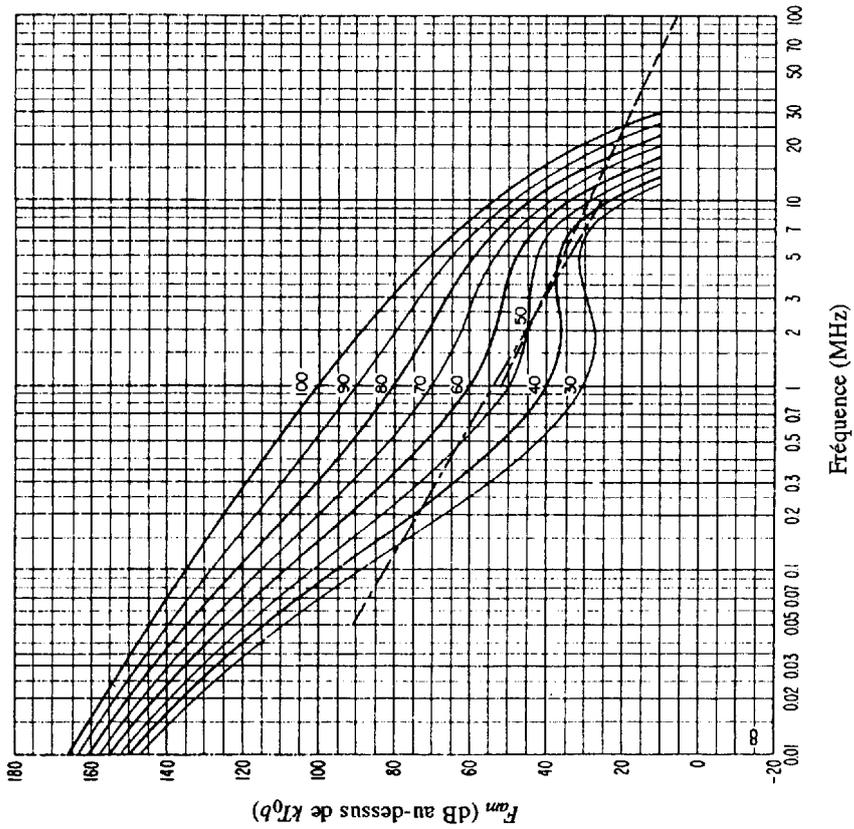


FIGURE 21b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Printemps; 0000-0400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

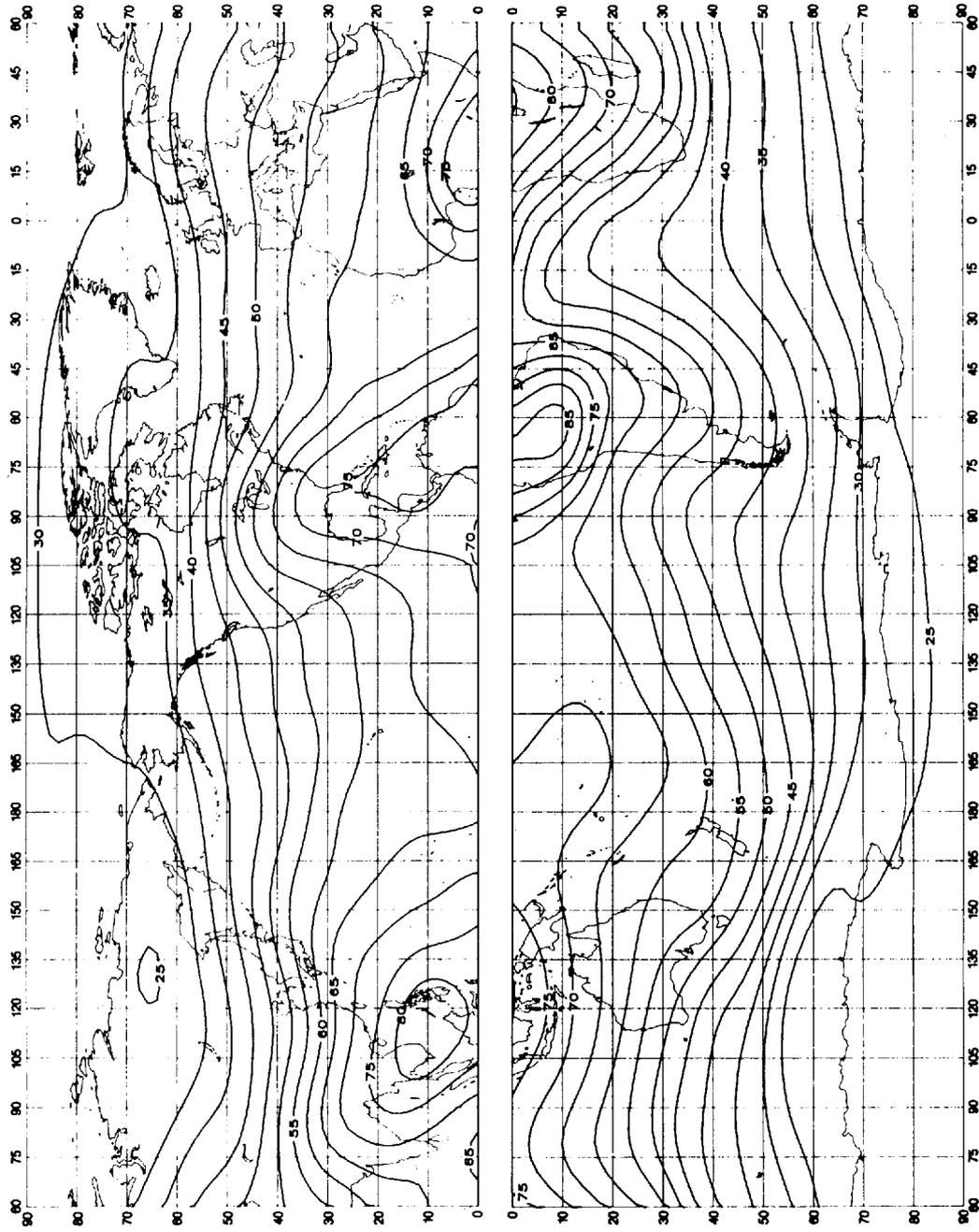


FIGURE 22a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, $F_{0.1}$ en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Printemps; 0400-0800 heure locale)

0372-22a

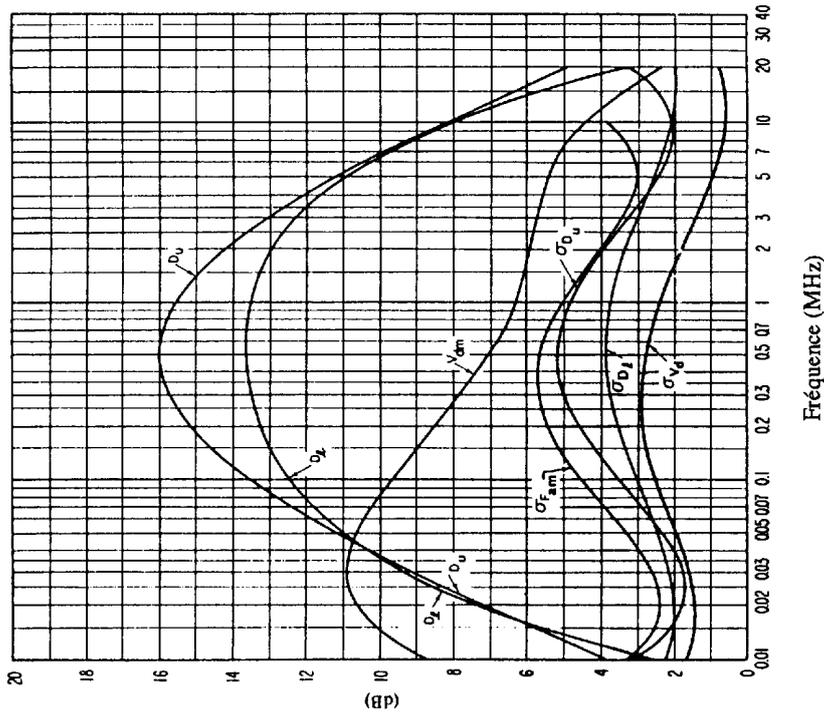


FIGURE 22c -- Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Printemps; 0400-0800 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

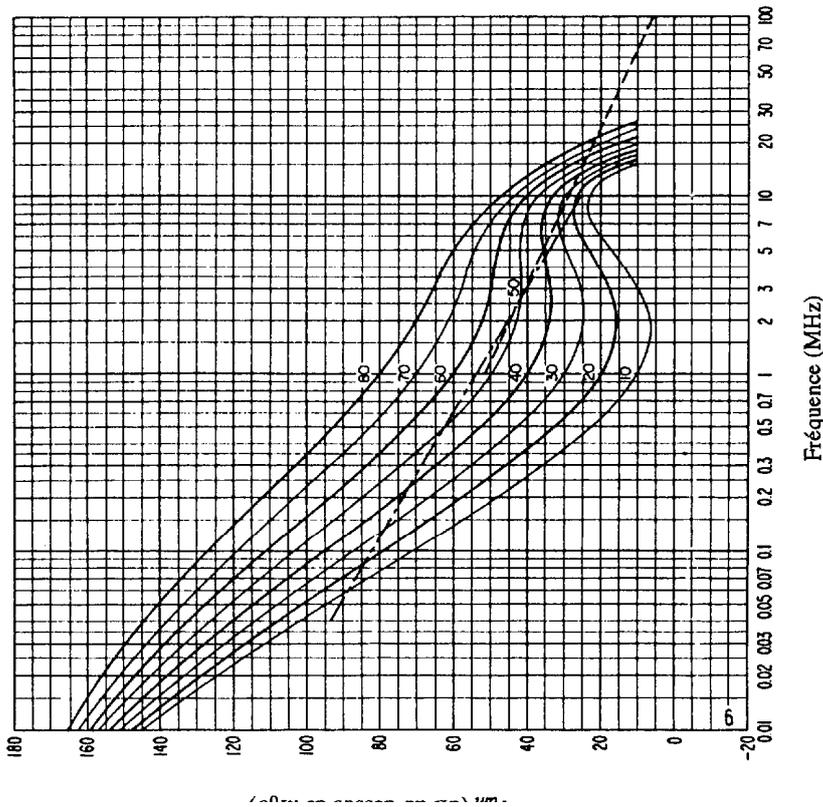


FIGURE 22b -- Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Printemps; 0400-0800 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

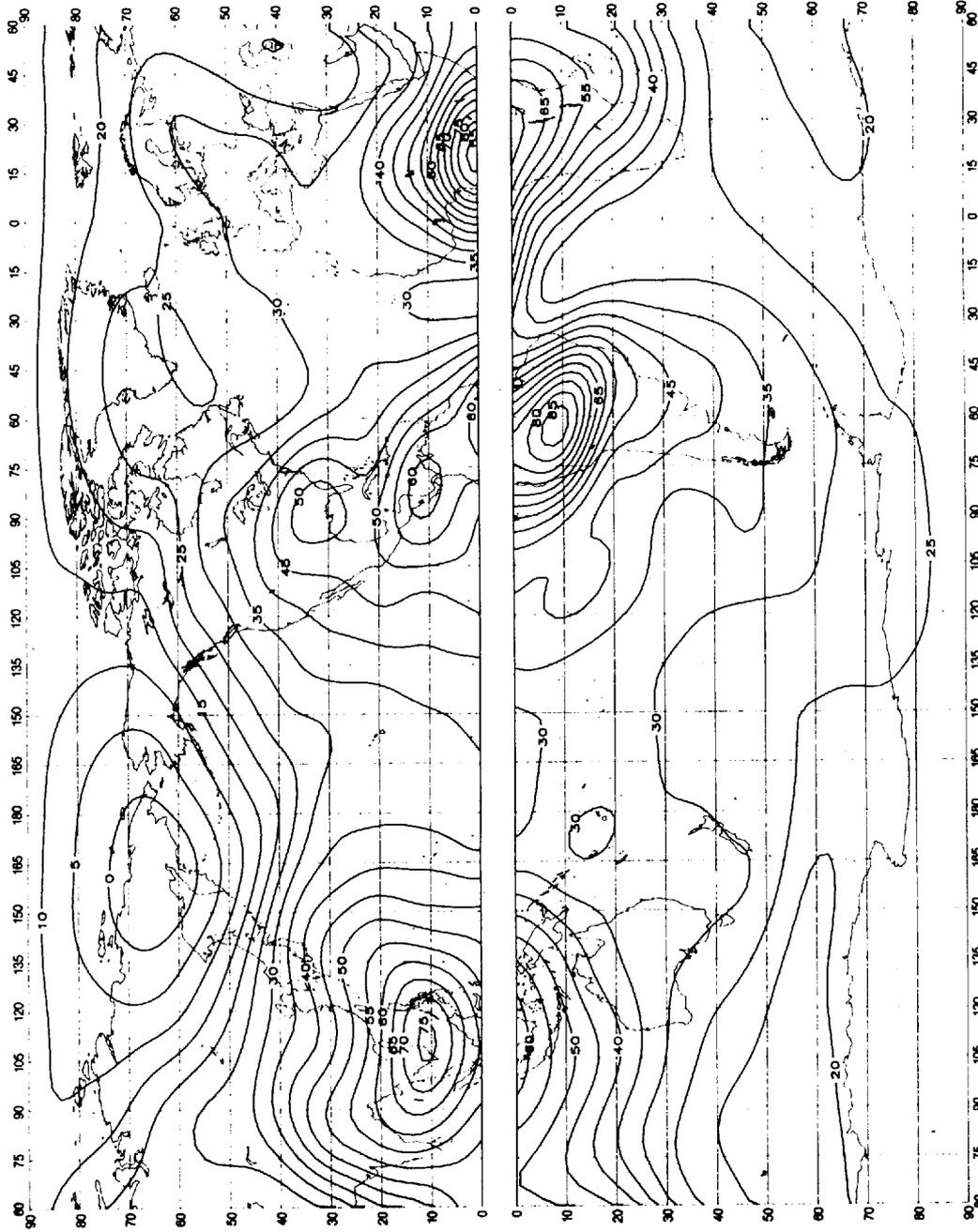


FIGURE 23a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{fm} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Printemps; 0800-1200 heure locale)

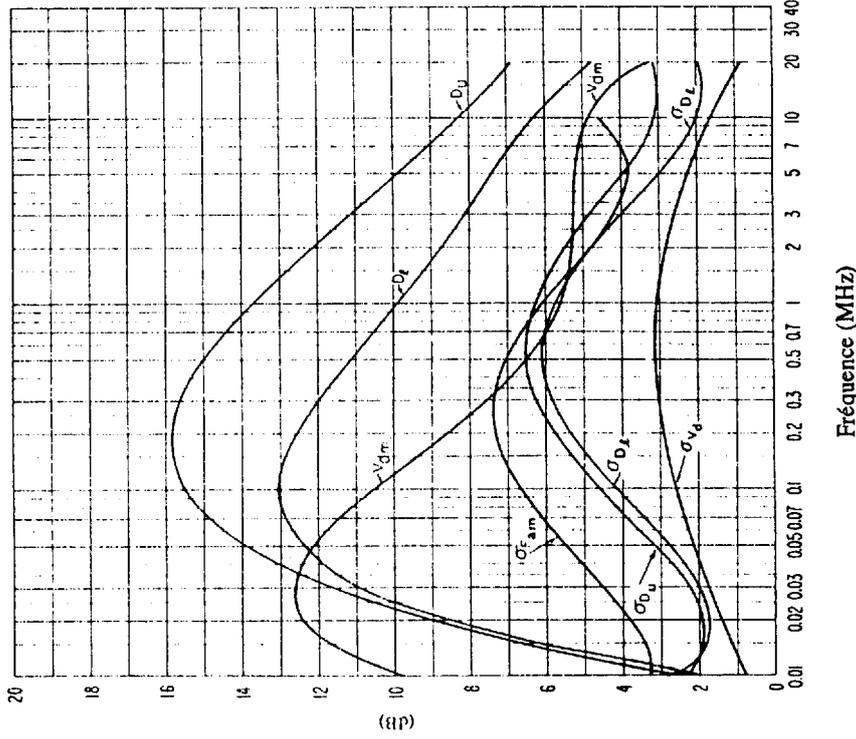


FIGURE 23c -- Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Printemps; 0800-1200 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-23b

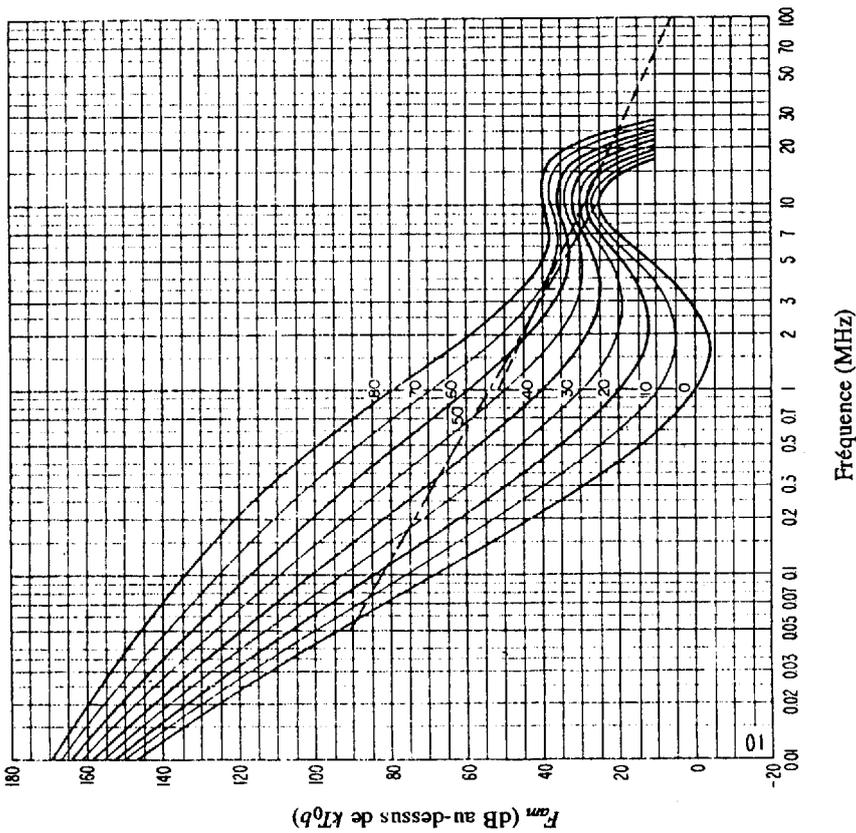


FIGURE 23b -- Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Printemps; 0800-1200 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

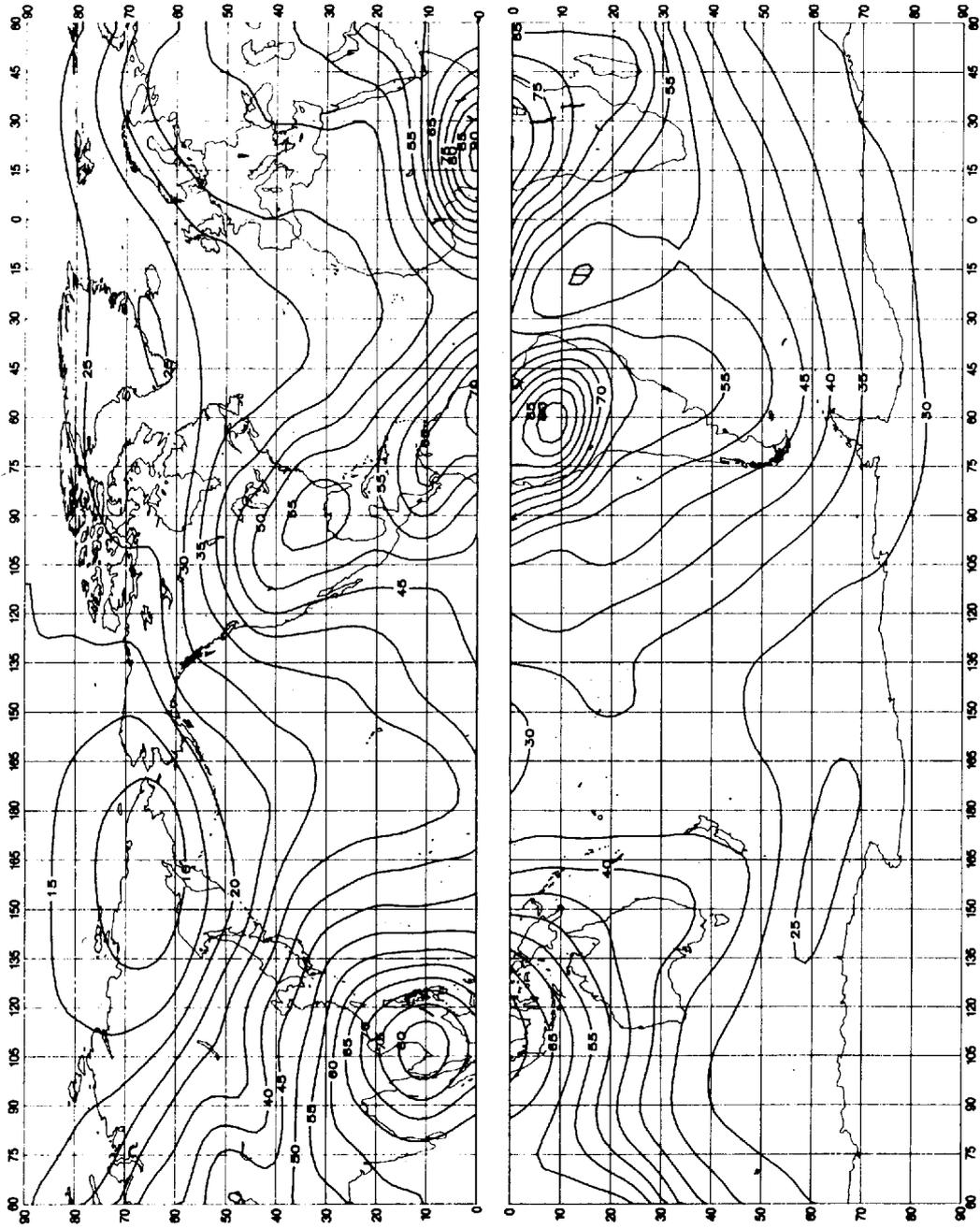


FIGURE 24a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Printemps; 1200-1600 heure locale)

0372-24a

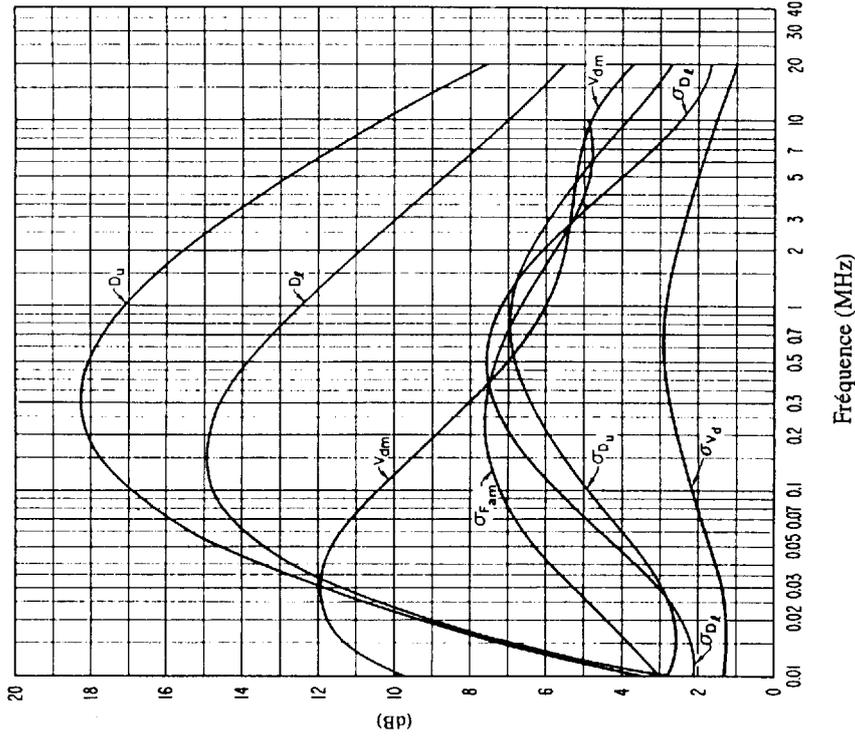


FIGURE 24c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Printemps; 1200-1600 heure locale)

0372-24b

Voir la légende de la Fig. 15c

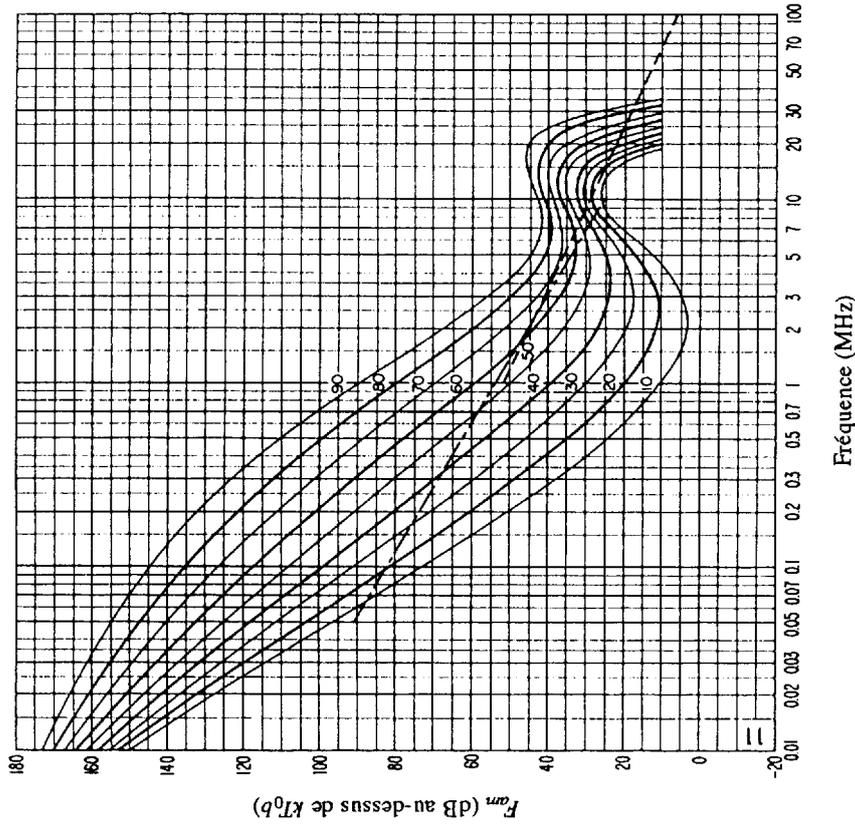


FIGURE 24b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Printemps; 1200-1600 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

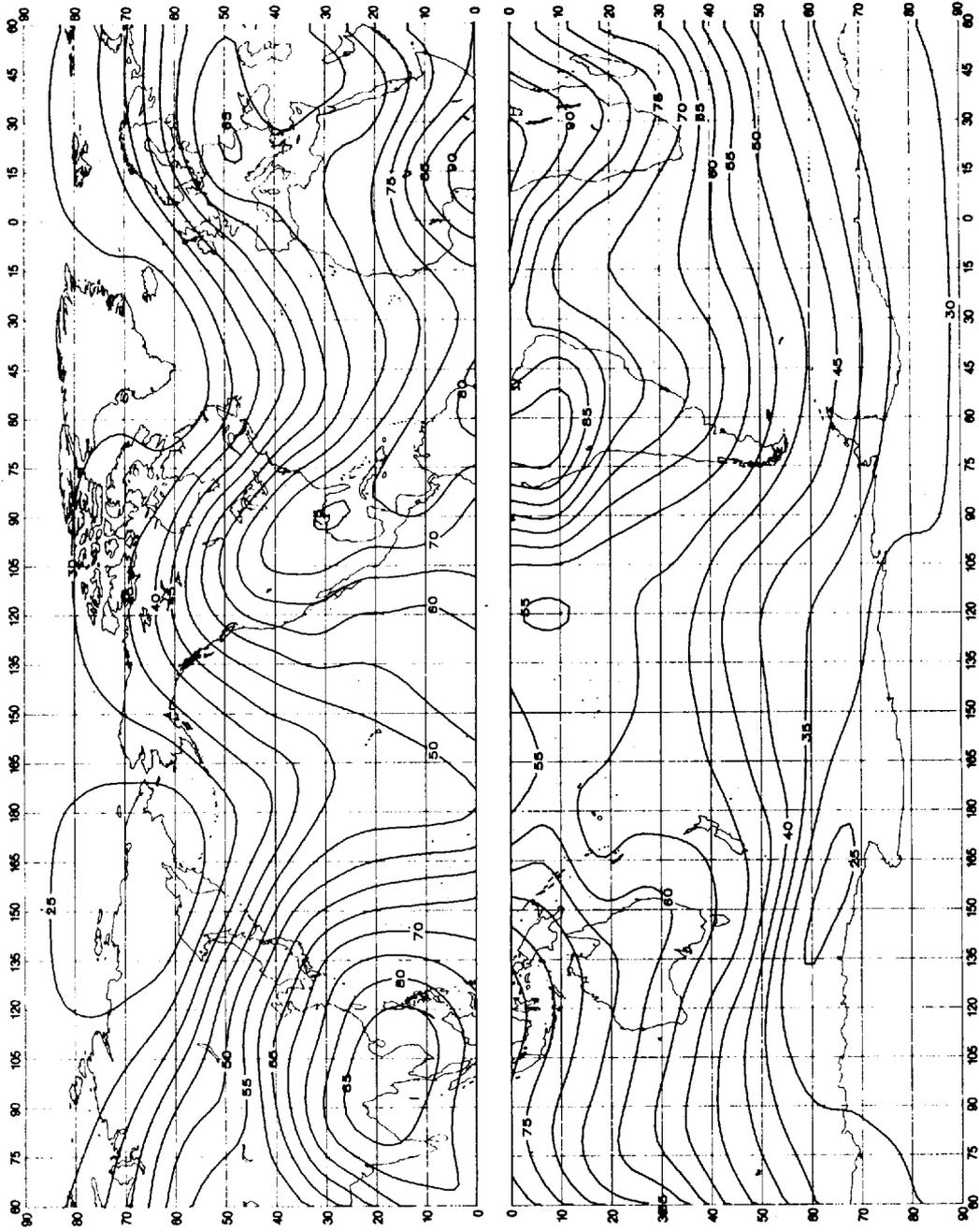


FIGURE 25a - Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{fm} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Printemps; 1600-2000 heure locale)

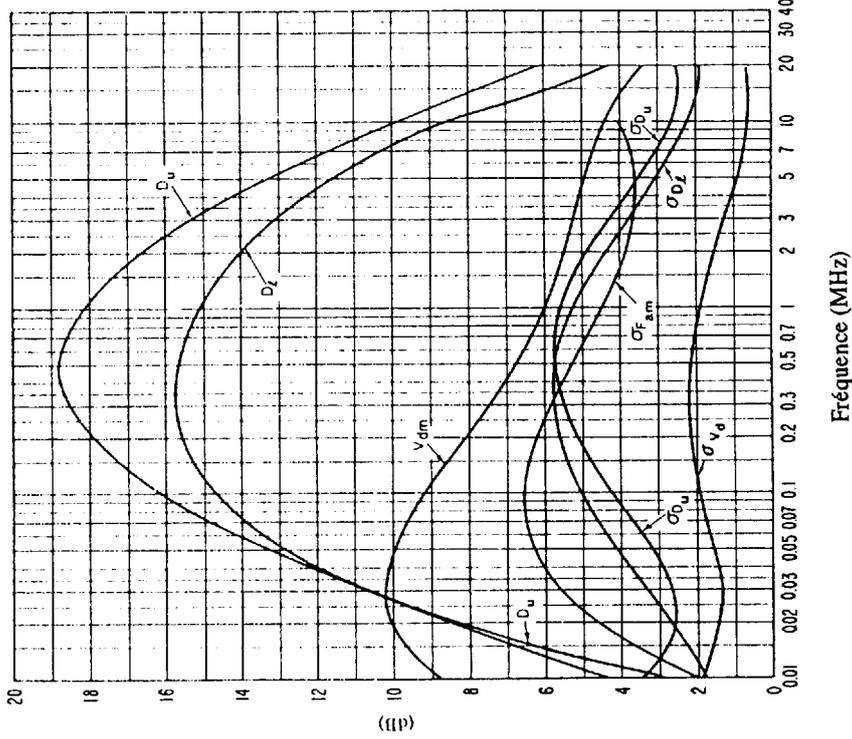


FIGURE 25c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Printemps; 1600-2000 heure locale)

0372-25b

Voir la légende de la Fig. 15c

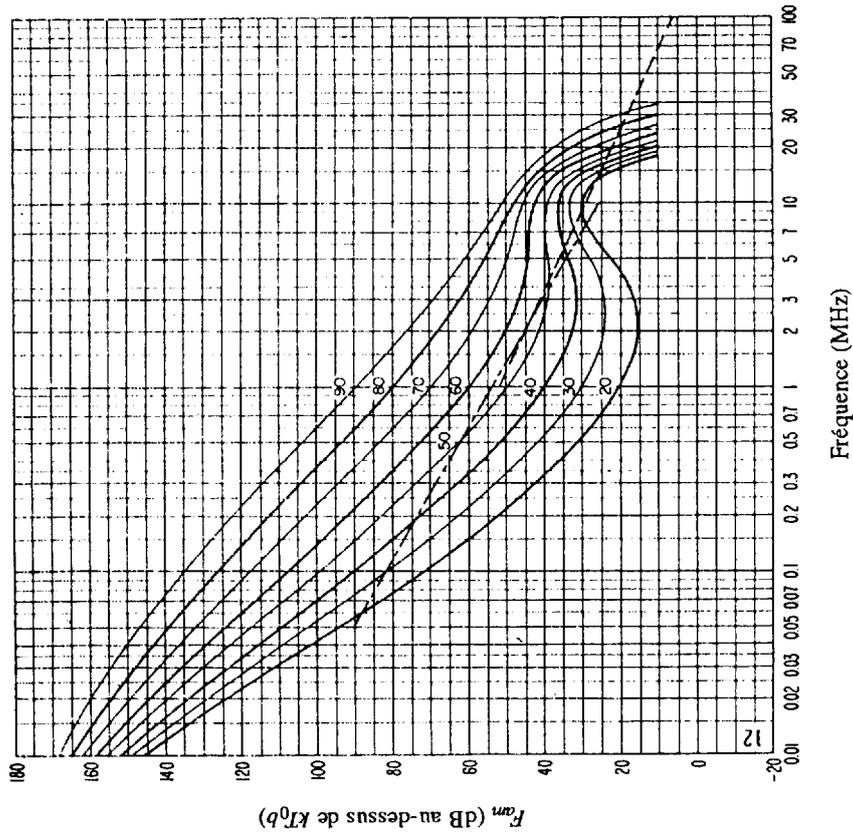


FIGURE 25b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Printemps; 1600-2000 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

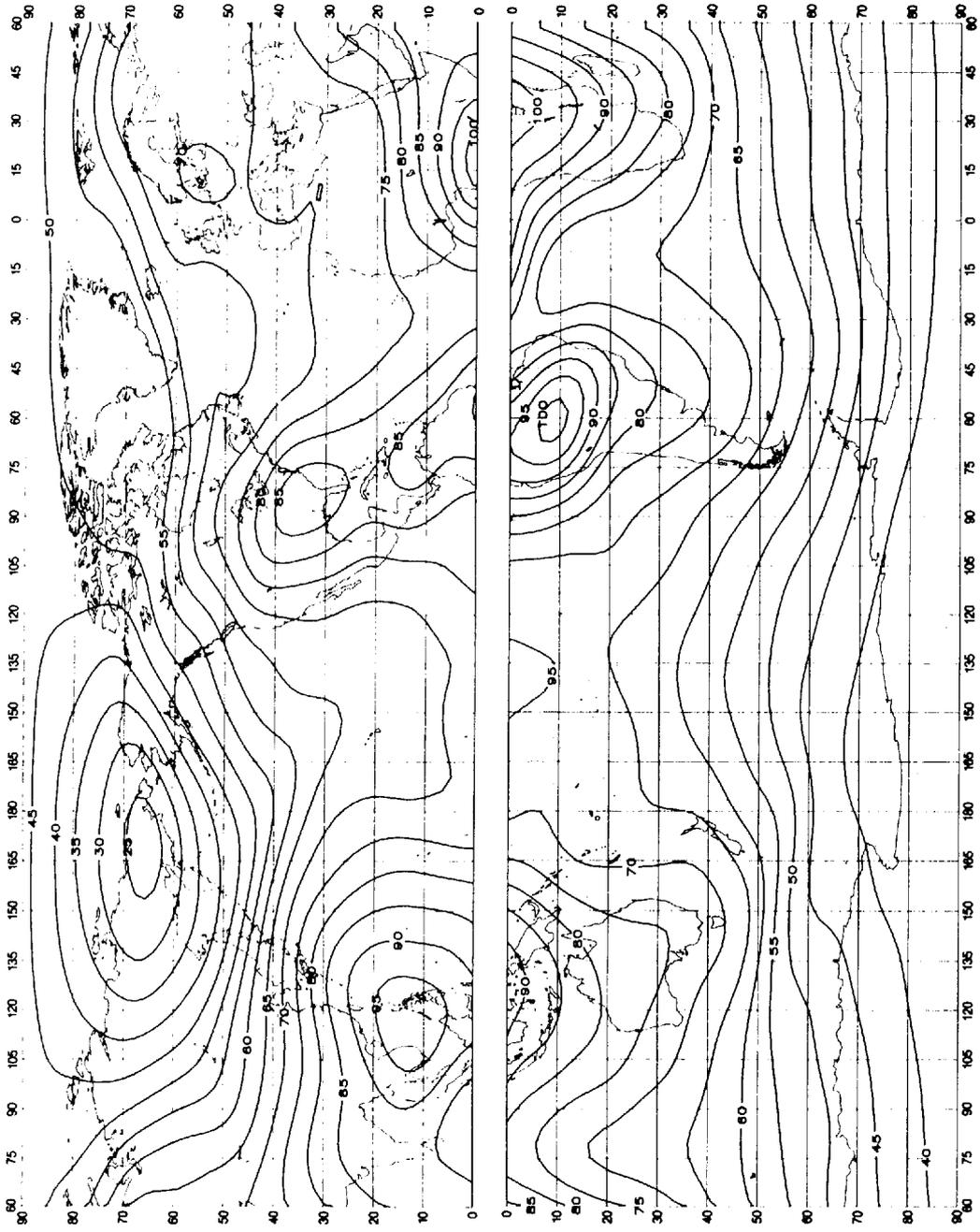


FIGURE 26a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Printemps; 2000-2400 heure locale)

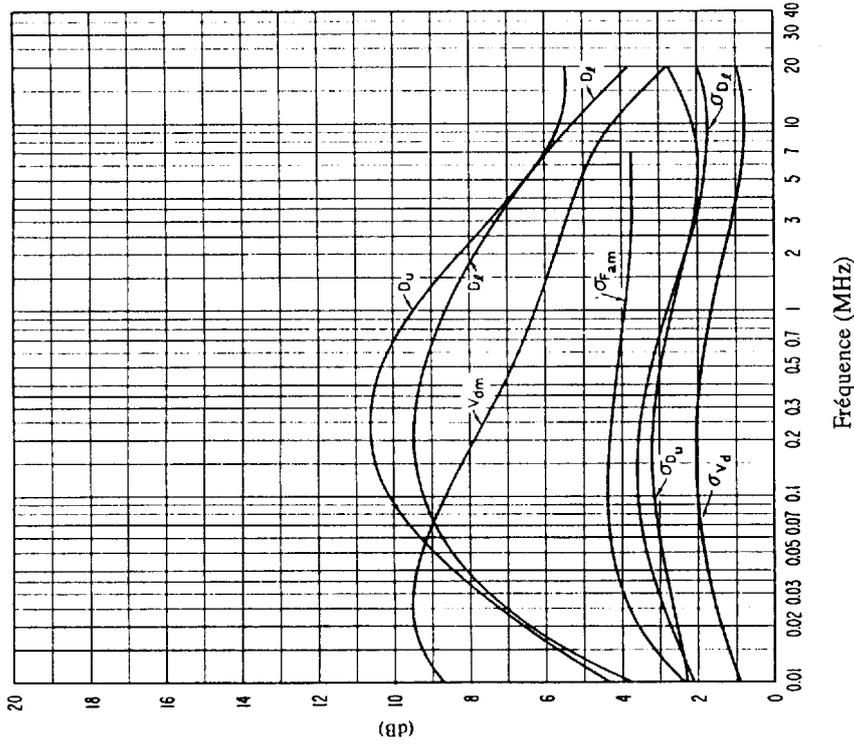


FIGURE 26c -- Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Printemps; 2000-2400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-26b

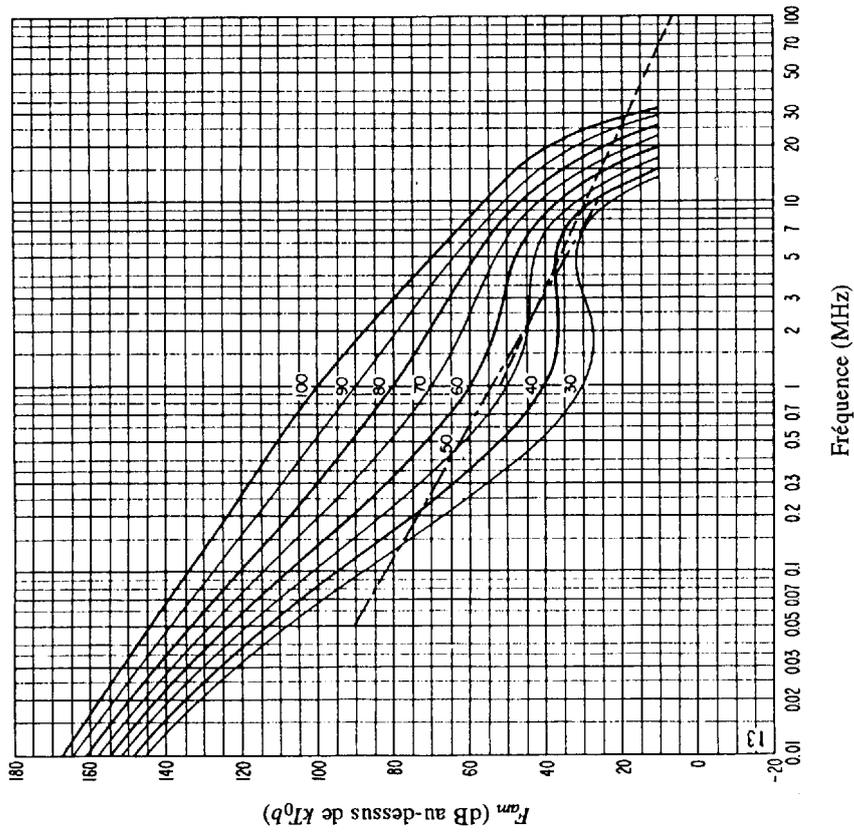


FIGURE 26b -- Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Printemps; 2000-2400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

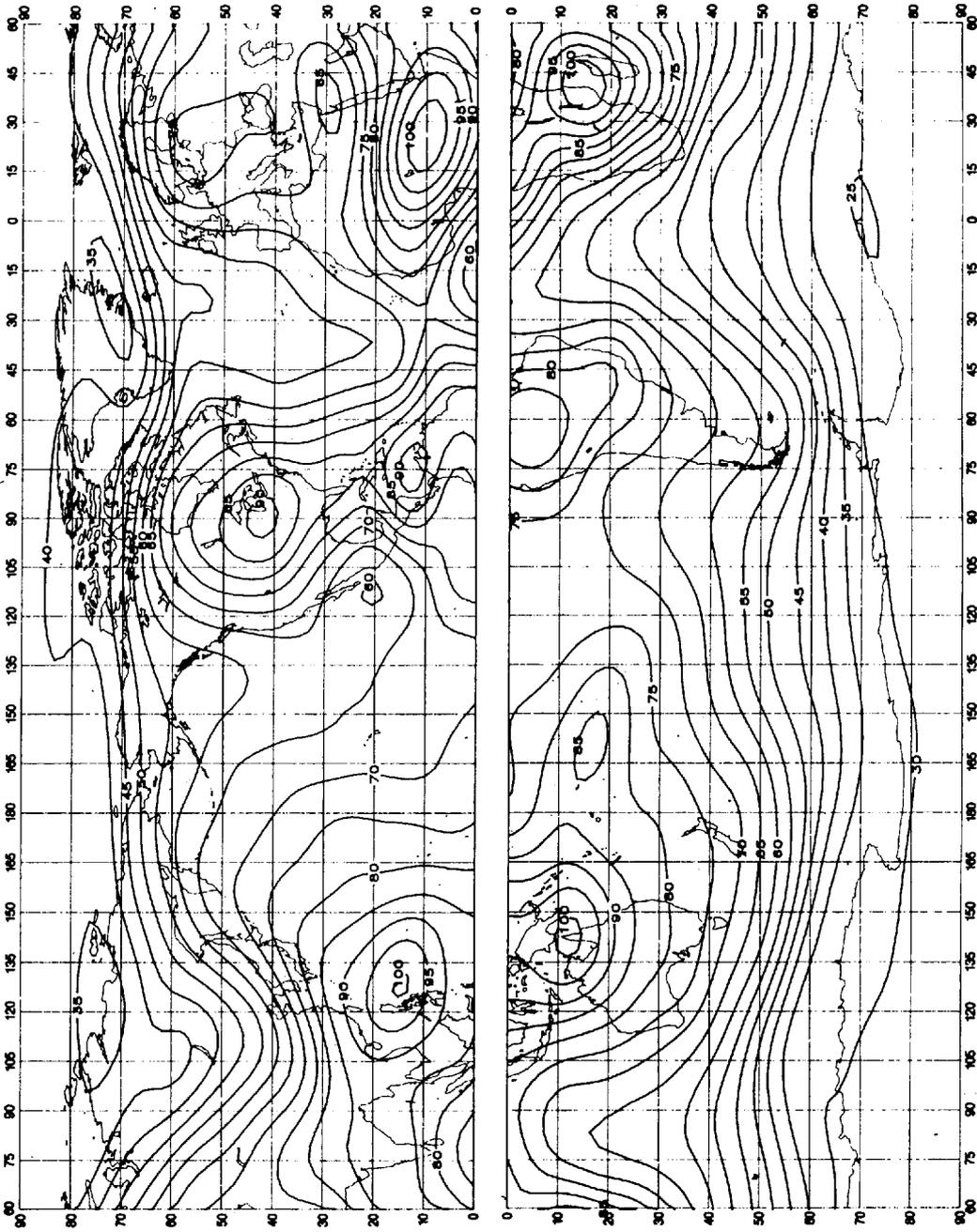


FIGURE 27a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Été; 0000-0400 heure locale)

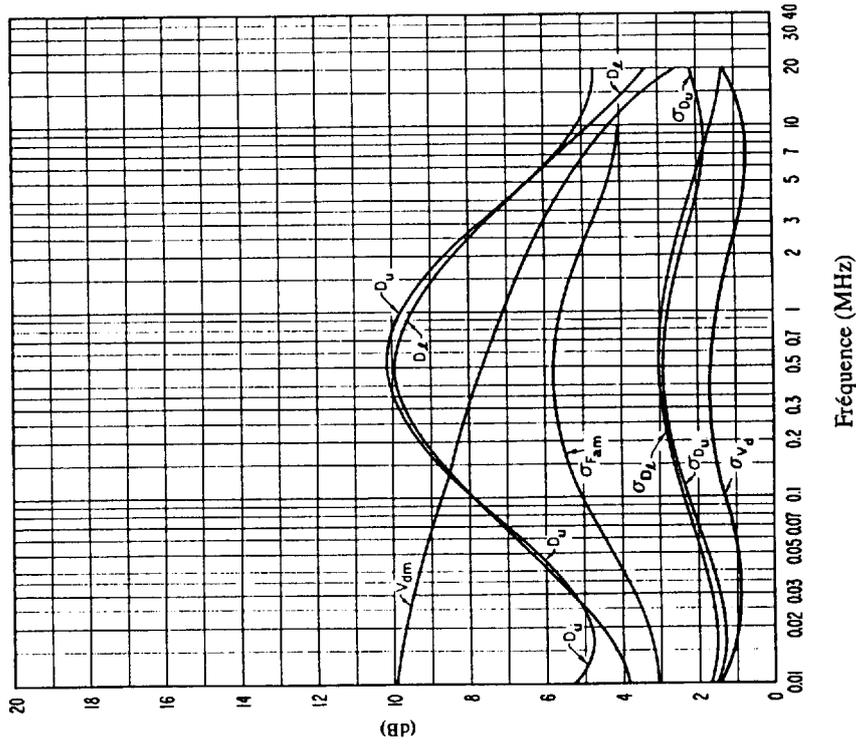


FIGURE 27c - Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Eié; 0000-0400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-27b

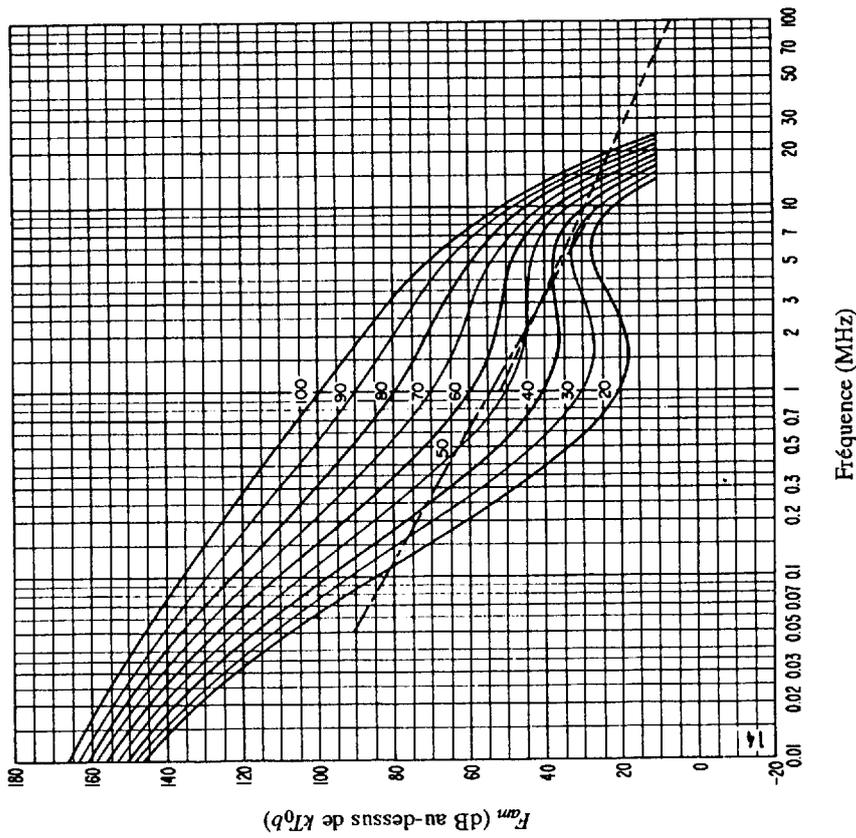


FIGURE 27b - Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Eié; 0000-0400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

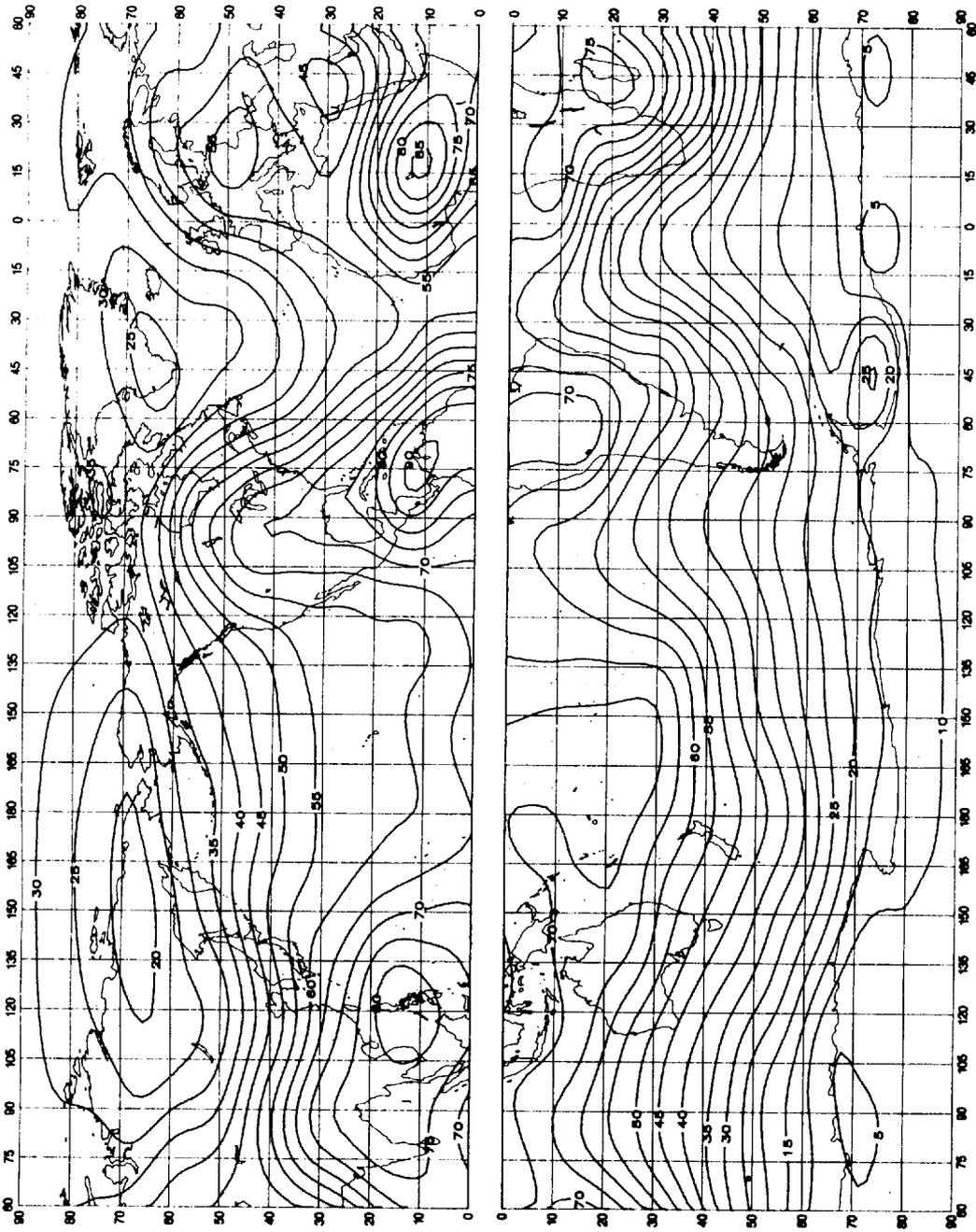


FIGURE 28a - Valeurs attendues du bruit atmospherique radioelectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Eie; 0400-0800 heure locale)

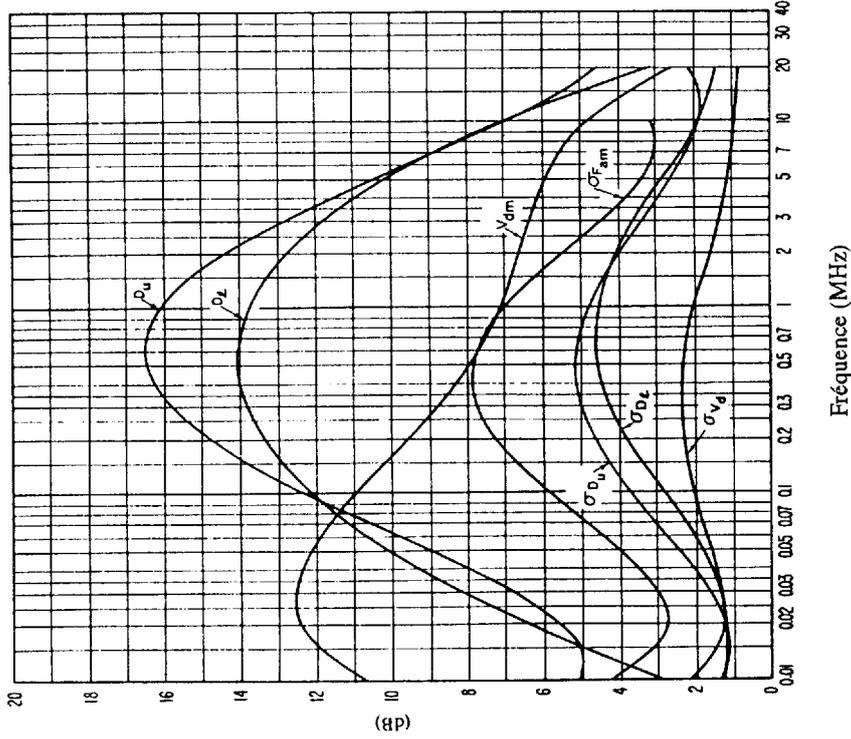


FIGURE 28c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Eté; 0400-0800 heure locale)

0372-28b

Voir la légende de la Fig. 15c

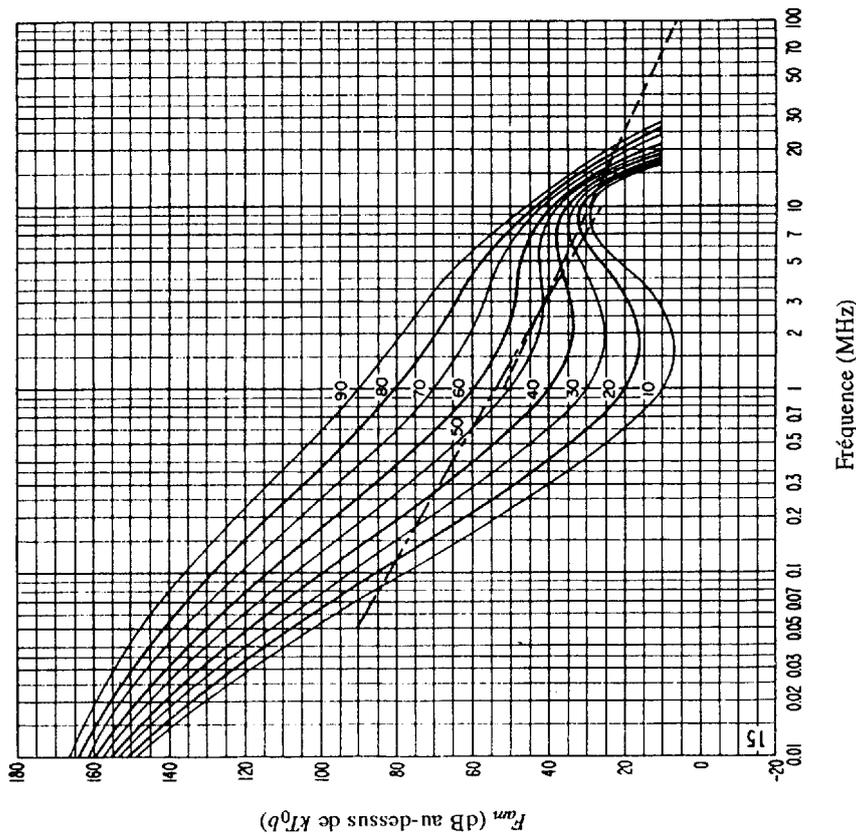


FIGURE 28b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Eté; 0400-0800 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

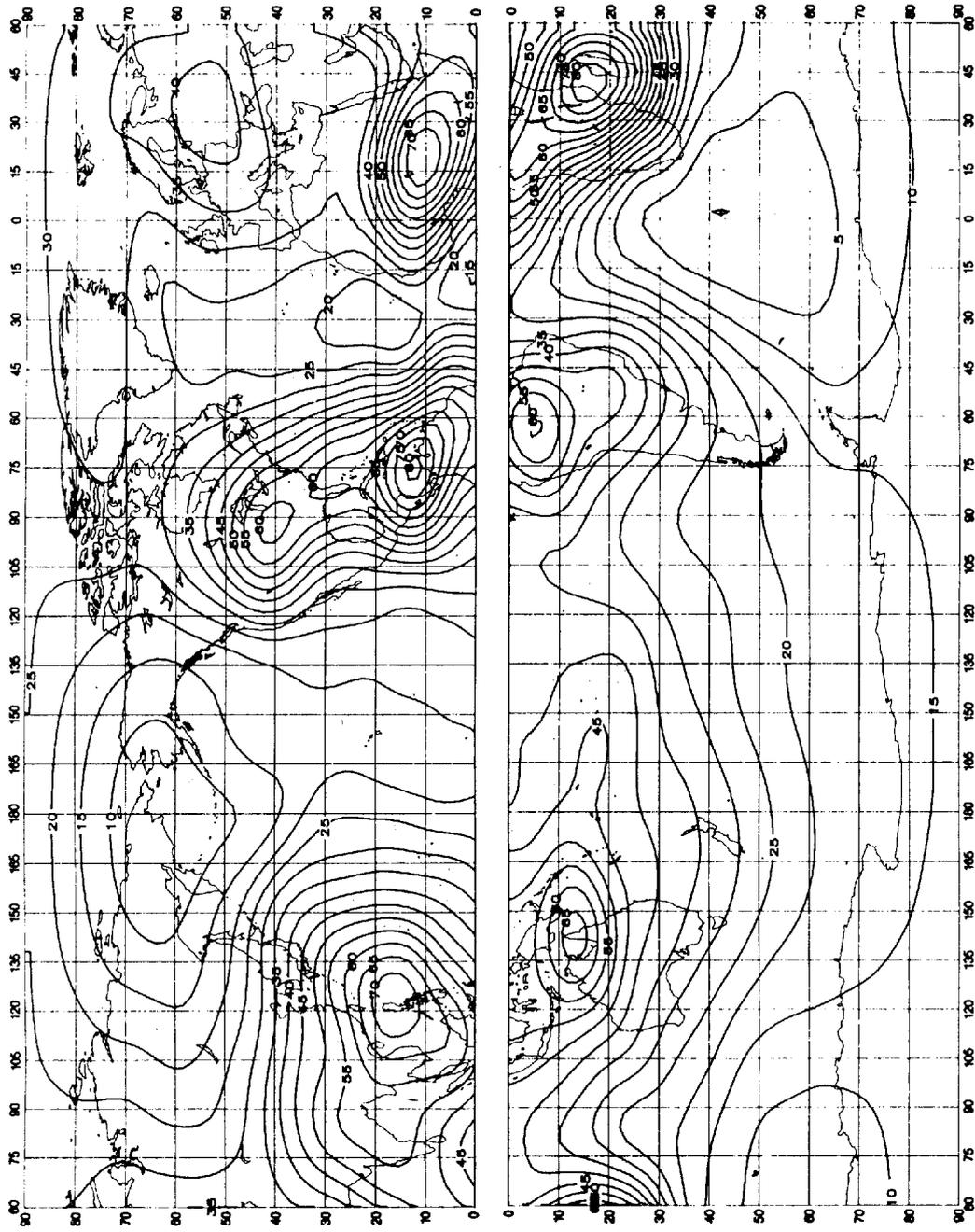


FIGURE 29a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Été; 0800-1200 heure locale)

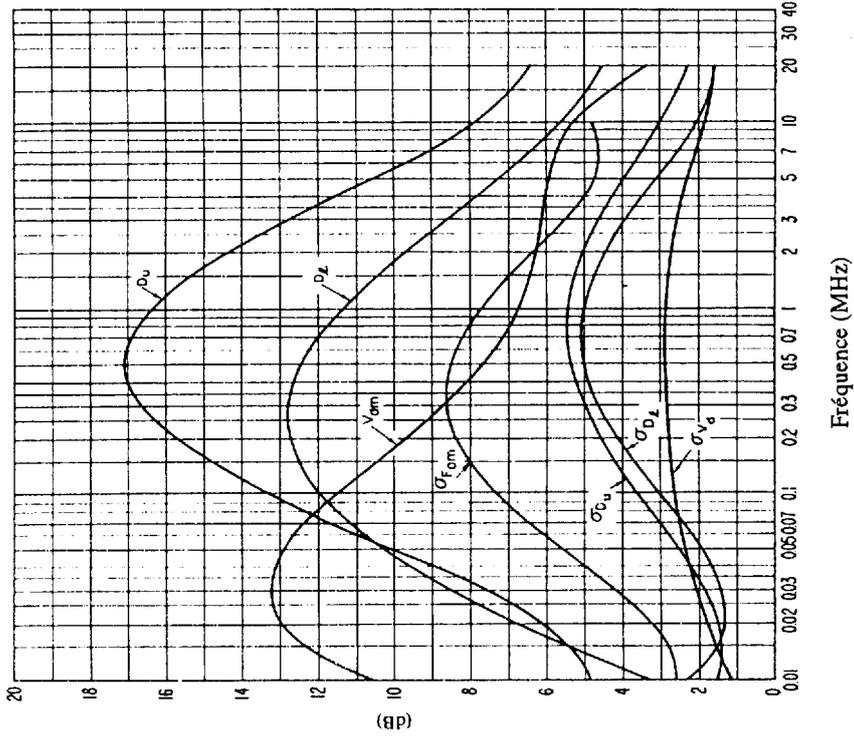


FIGURE 29c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Été; 0800-1200 heure locale)

0372-29b

Voir la légende de la Fig. 15c

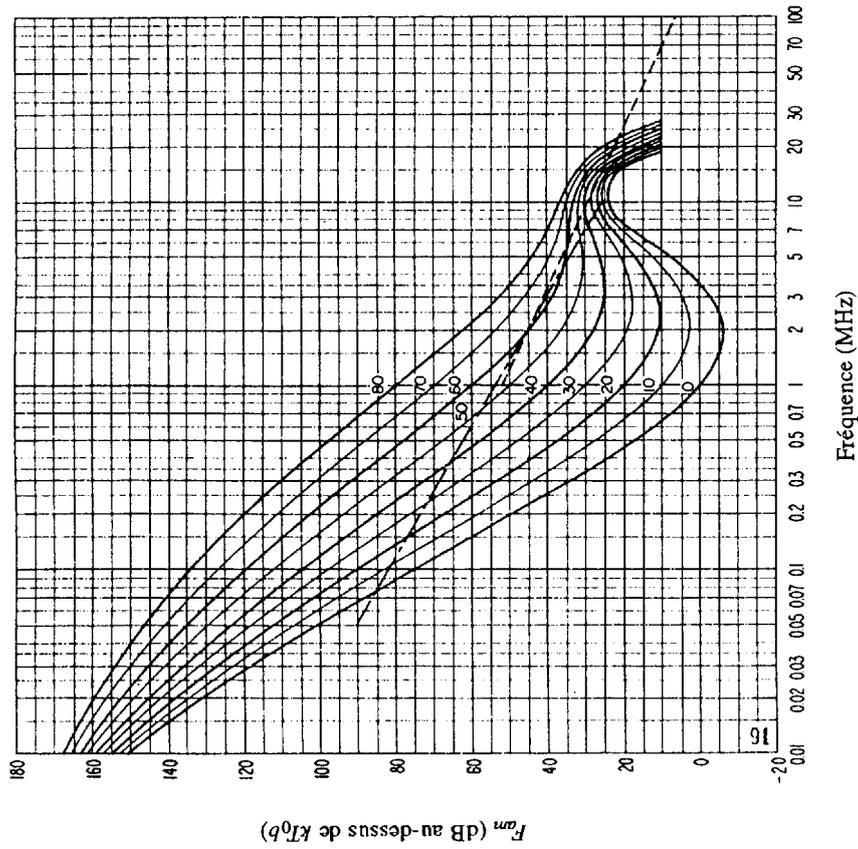


FIGURE 29b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Été; 0800-1200 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

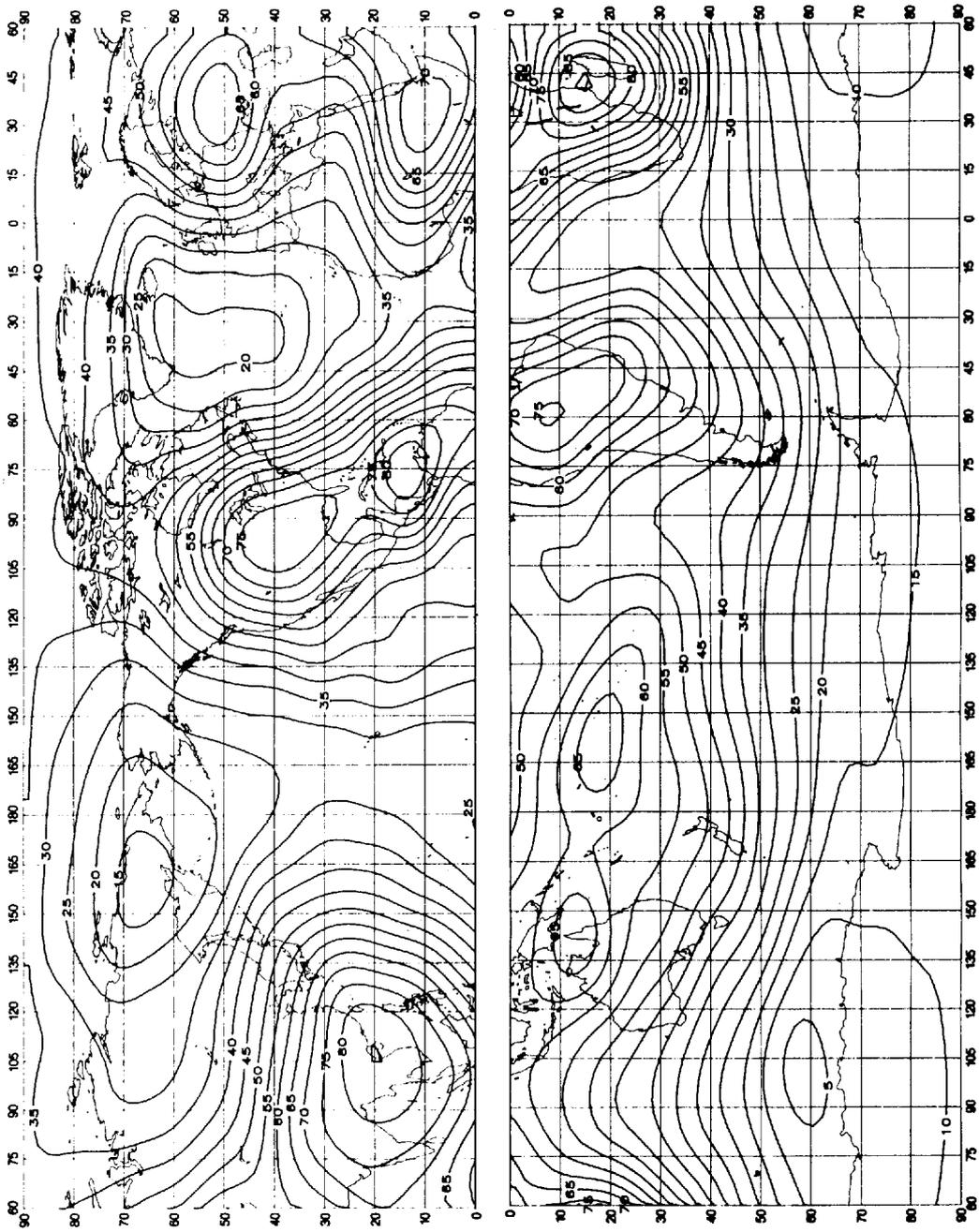


FIGURE 30a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Eie; 1200-1600 heure locale)

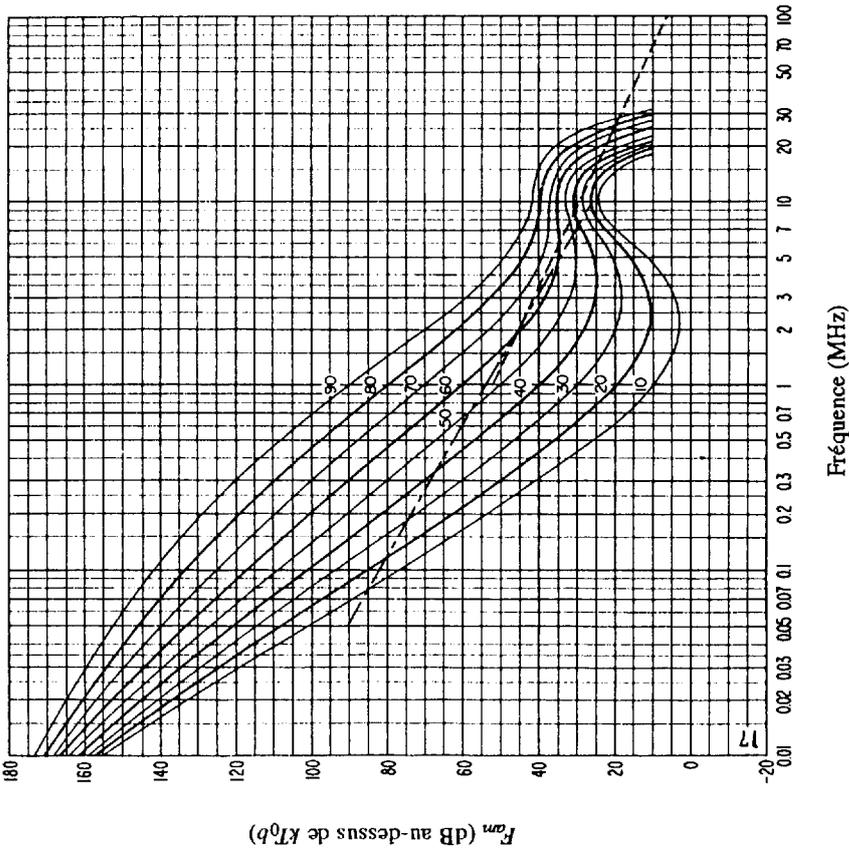


FIGURE 30b - Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Eté; 1200-1600 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

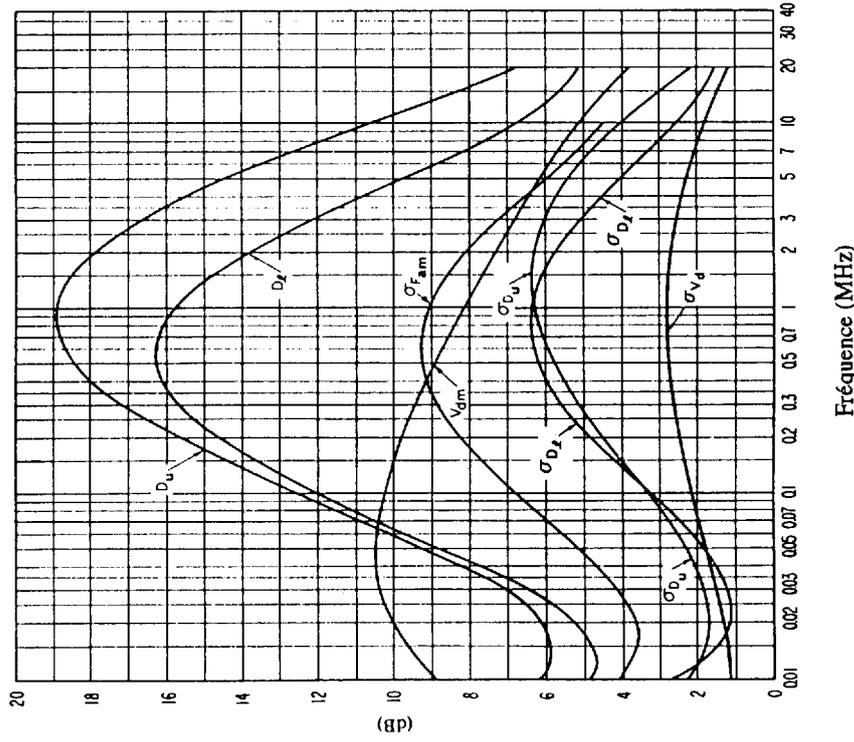


FIGURE 30c - Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Eté; 1200-1600 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

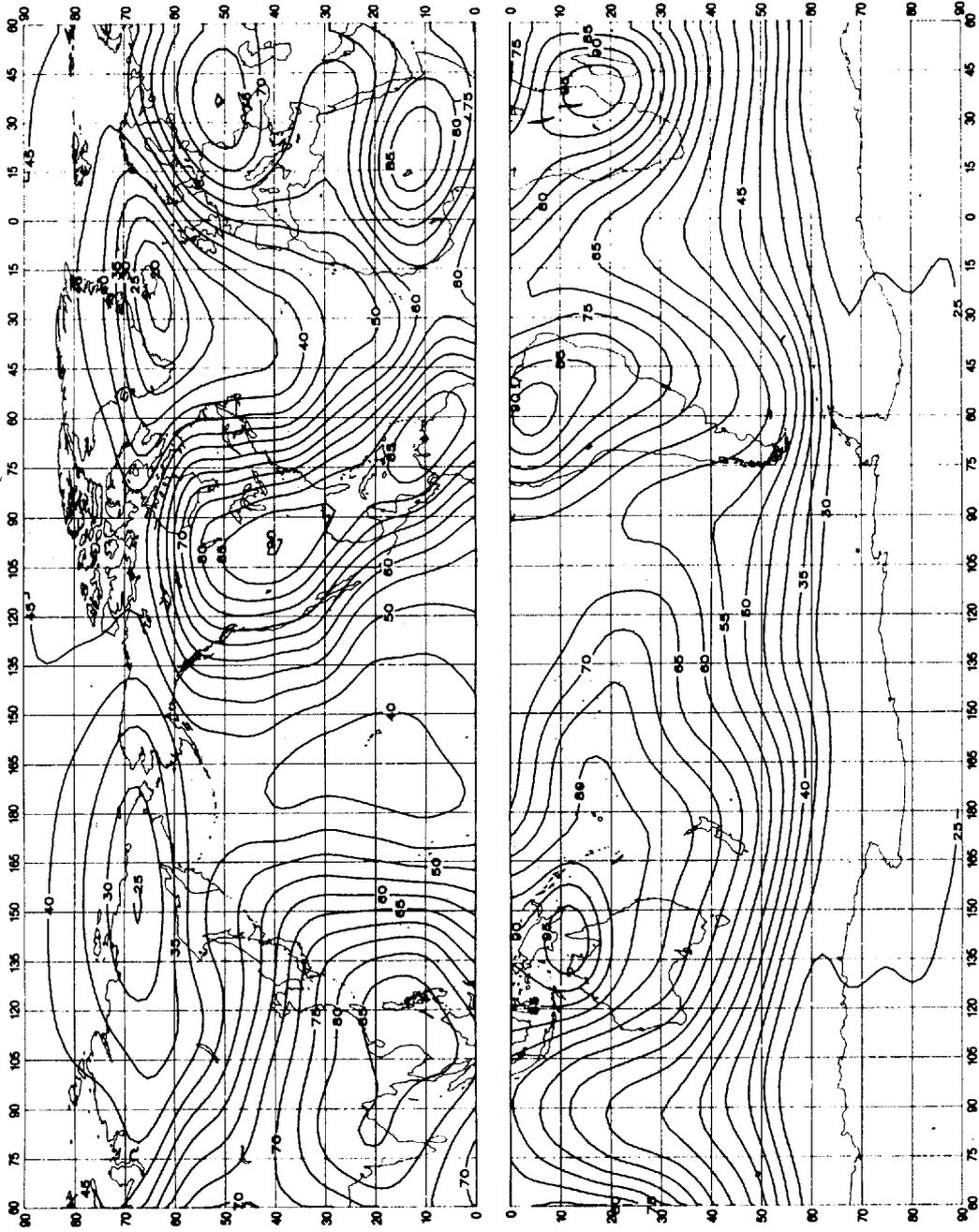


FIGURE 31a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{fm} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Eté; 1600-2000 heure locale)

0372-31a

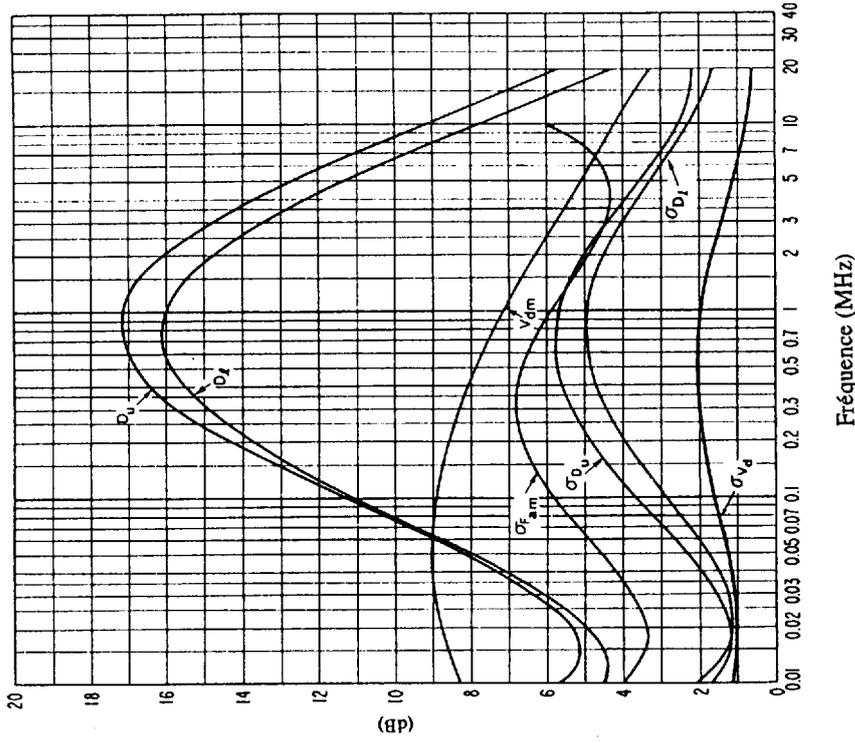


FIGURE 31c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Été; 1600-2000 heure locale)

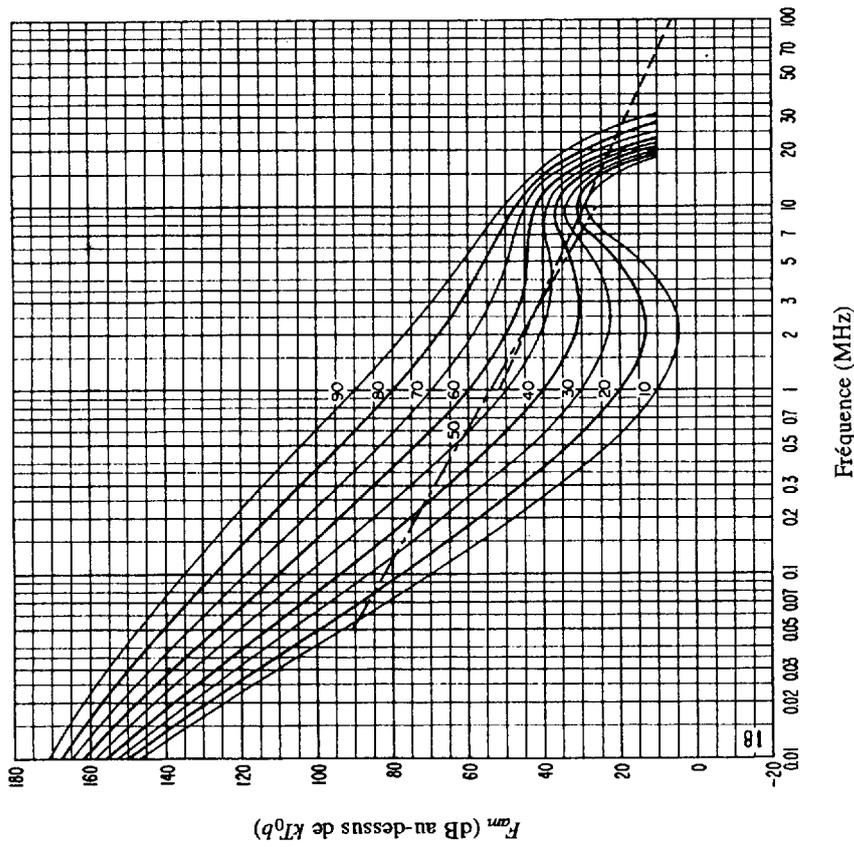


FIGURE 31b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Été; 1600-2000 heure locale)

0372-31b

Voir la légende de la Fig. 15c

Voir la légende de la Fig. 15b

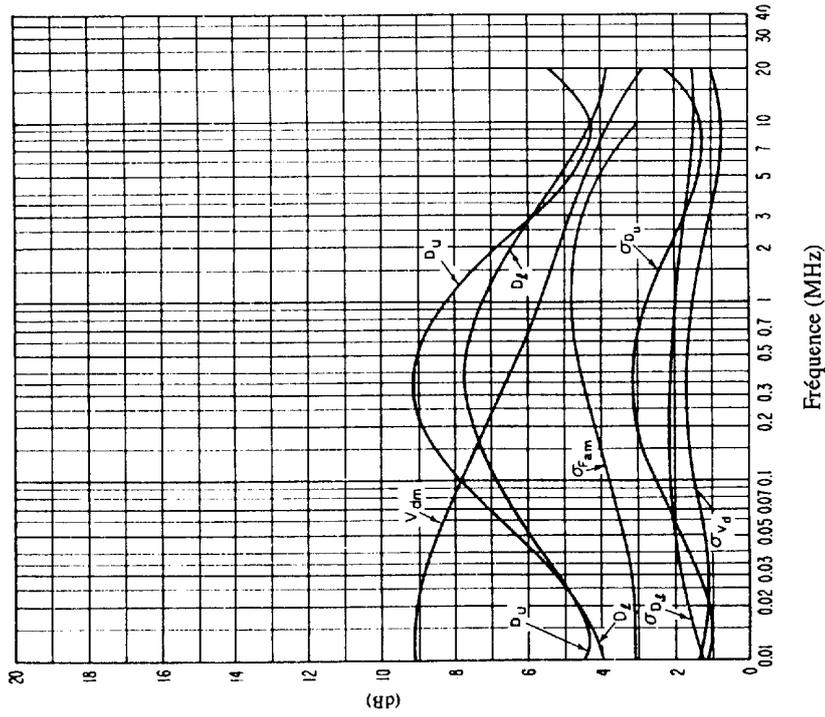


FIGURE 32c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Etié; 2000-2400 heure locale)

0372-32b

Voir la légende de la Fig. 15c

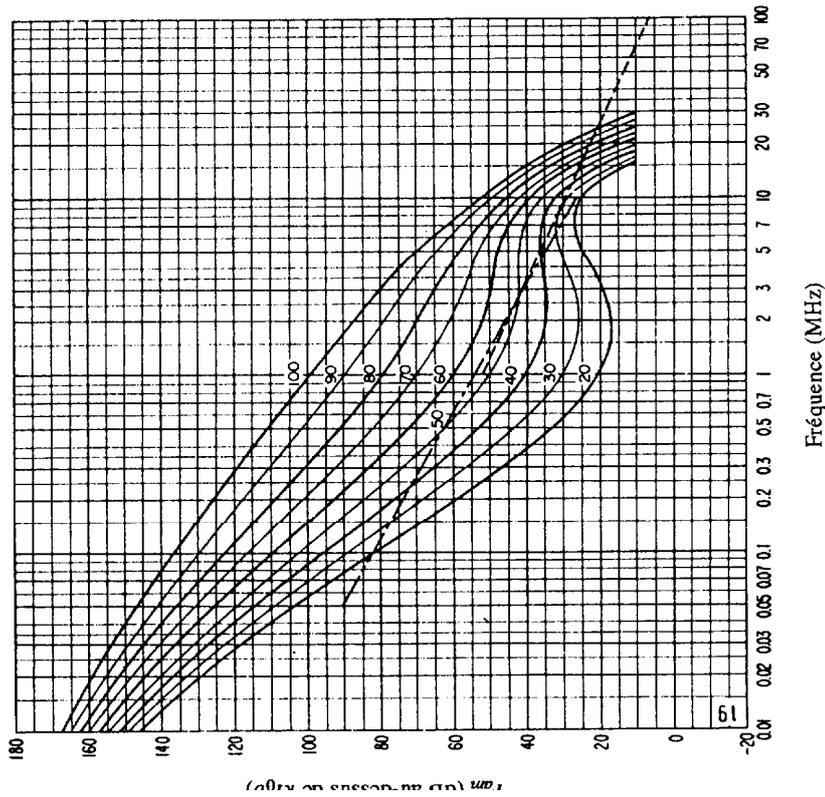


FIGURE 32b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Etié; 2000-2400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

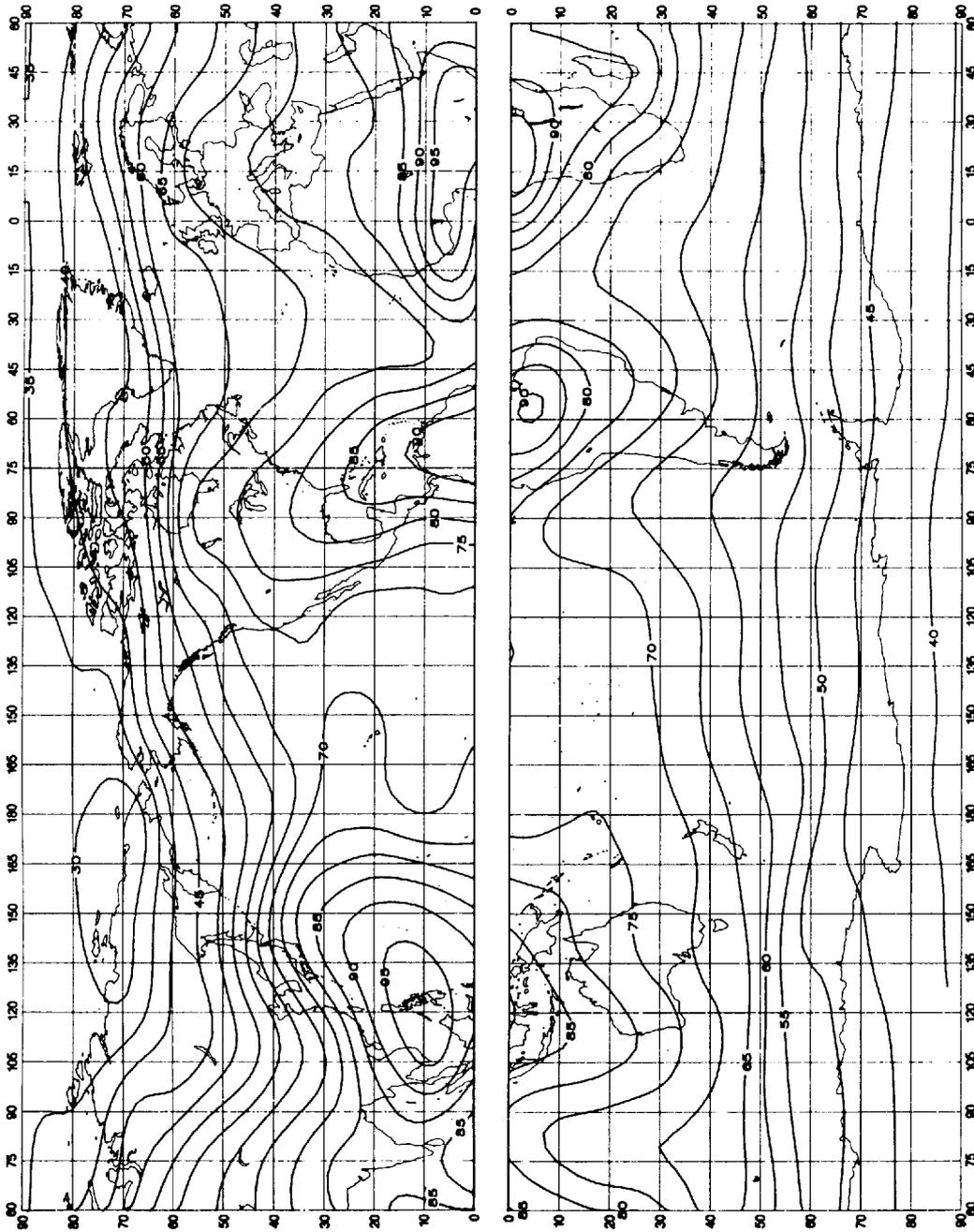


FIGURE 33a — Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{fm} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Automne; 0000-0400 heure locale)

0372-33a

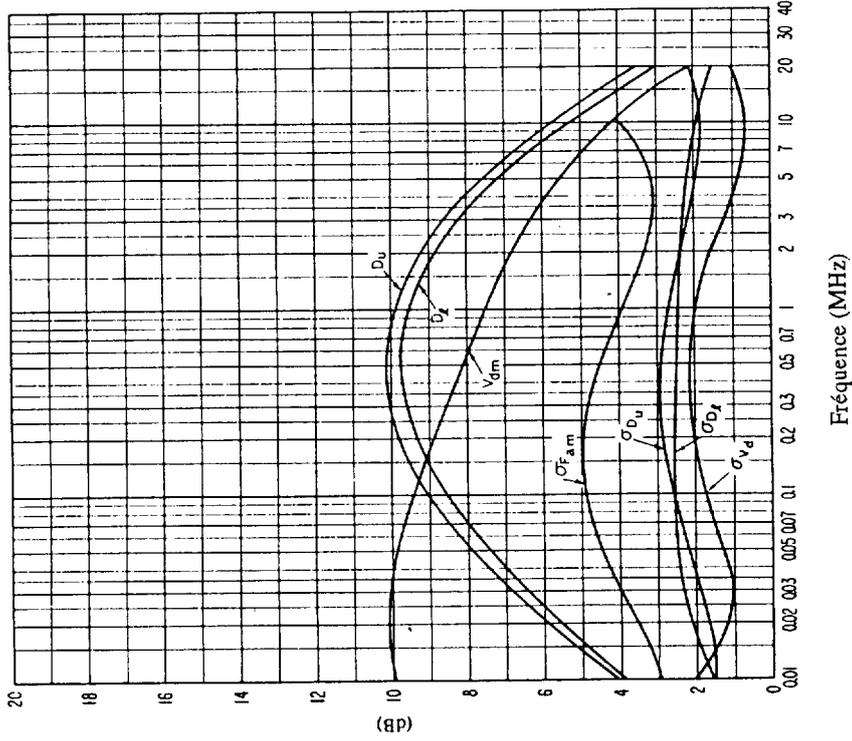


FIGURE 33c — Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Automne; 0000-0400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-33b

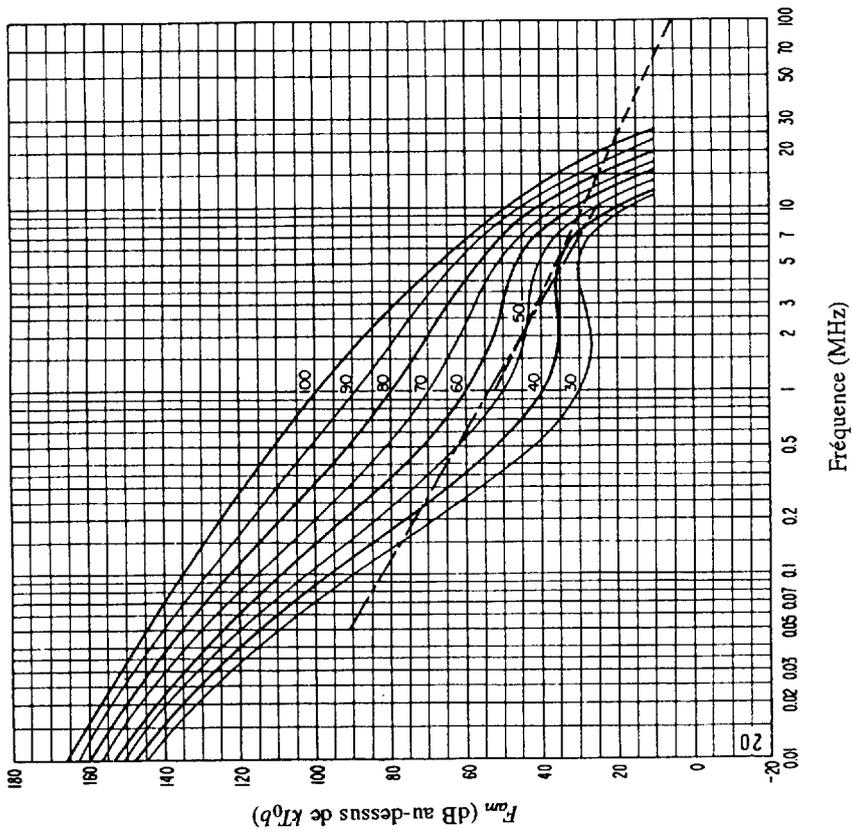


FIGURE 33b — Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Automne; 0000-0400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

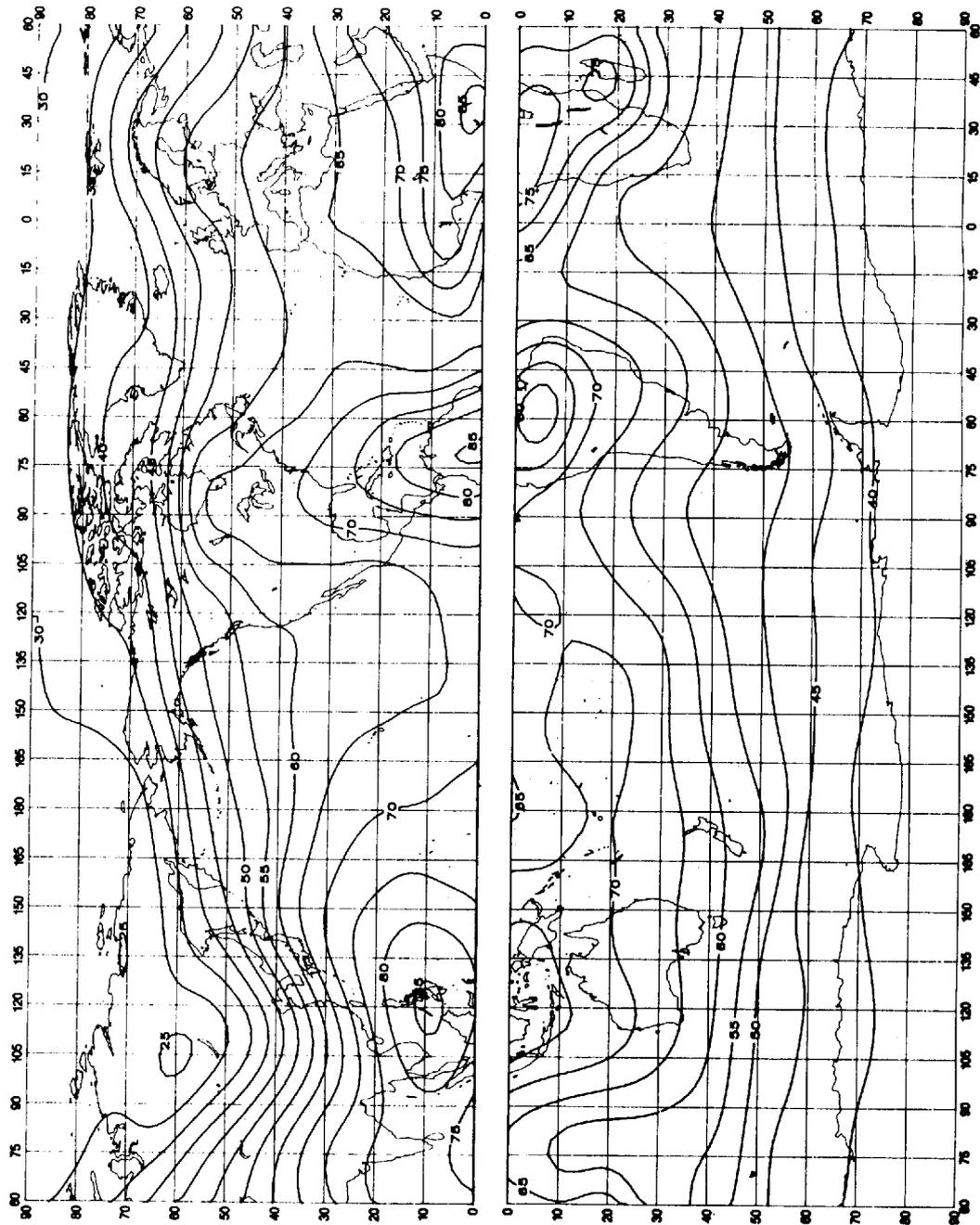


FIGURE 34a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_{0b} à 1 MHz (Automne; 0400-0800 heure locale)

0372-34a

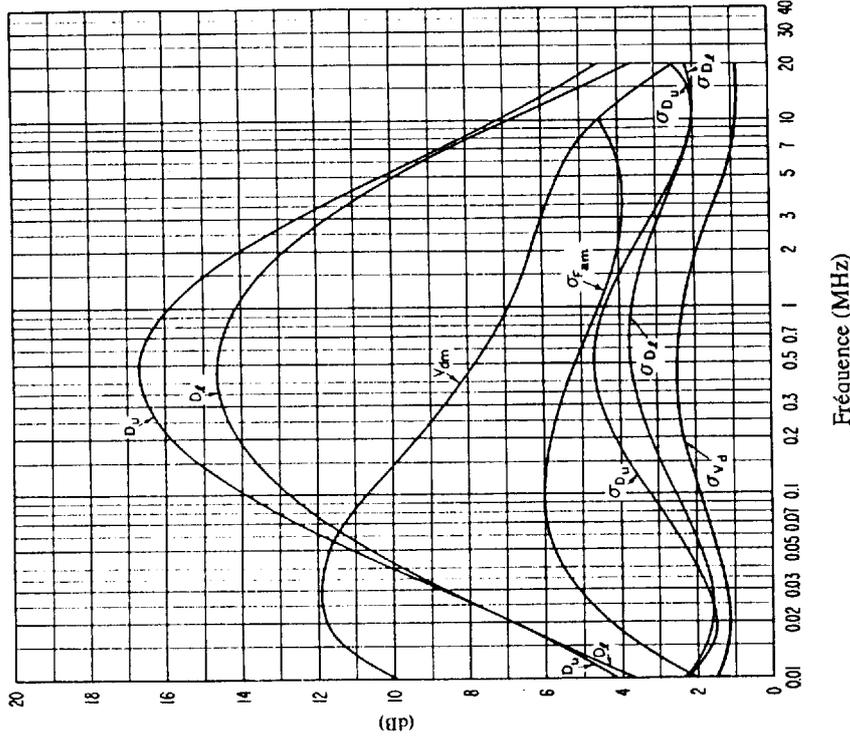


FIGURE 34c - Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Automne; 0400-0800 heure locale)

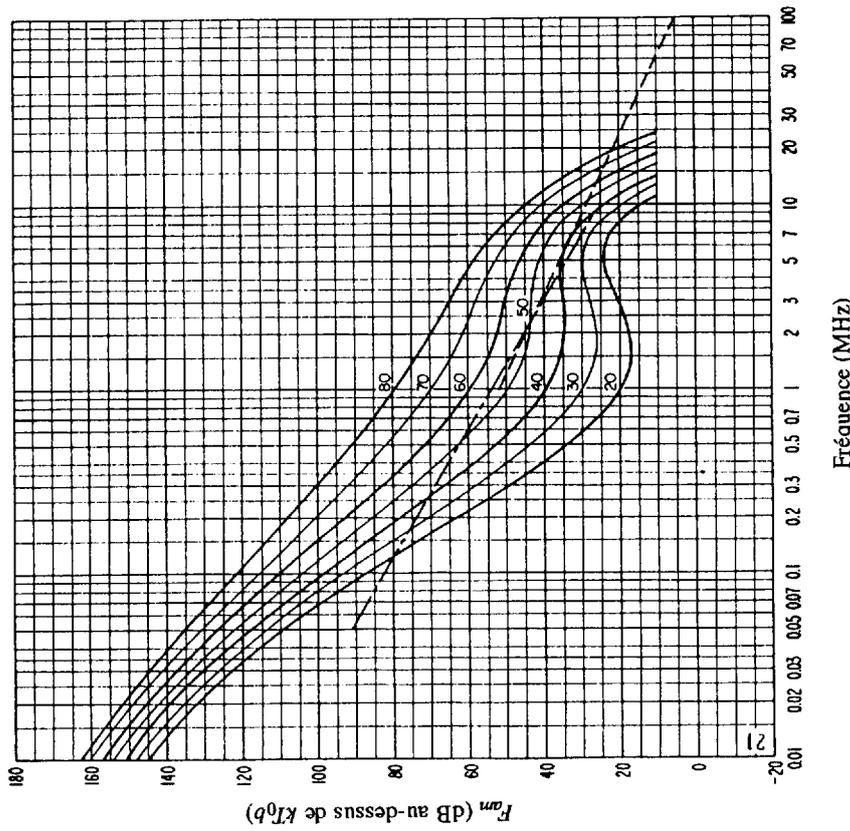


FIGURE 34b - Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Automne; 0400-0800 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

Voir la légende de la Fig. 15b

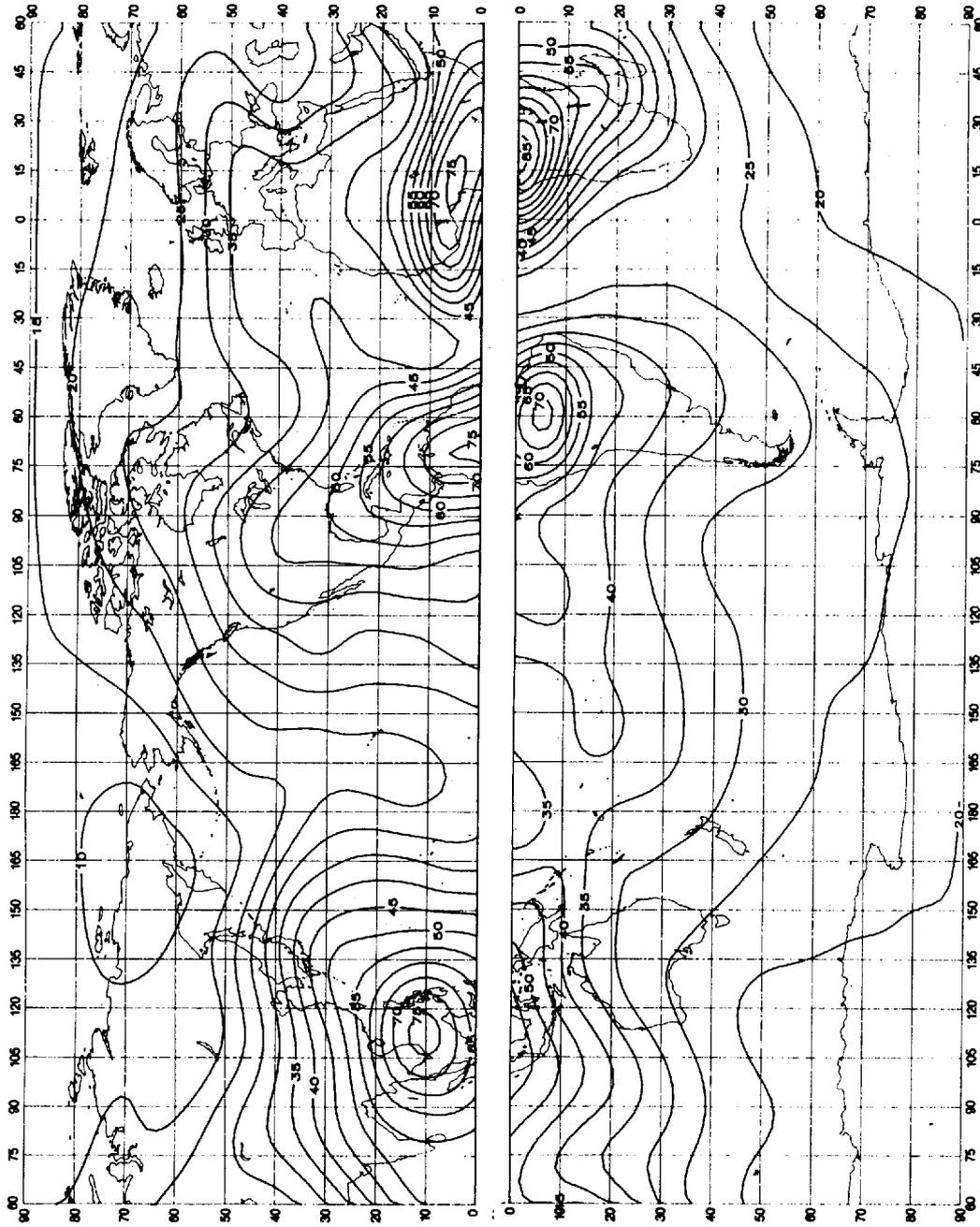
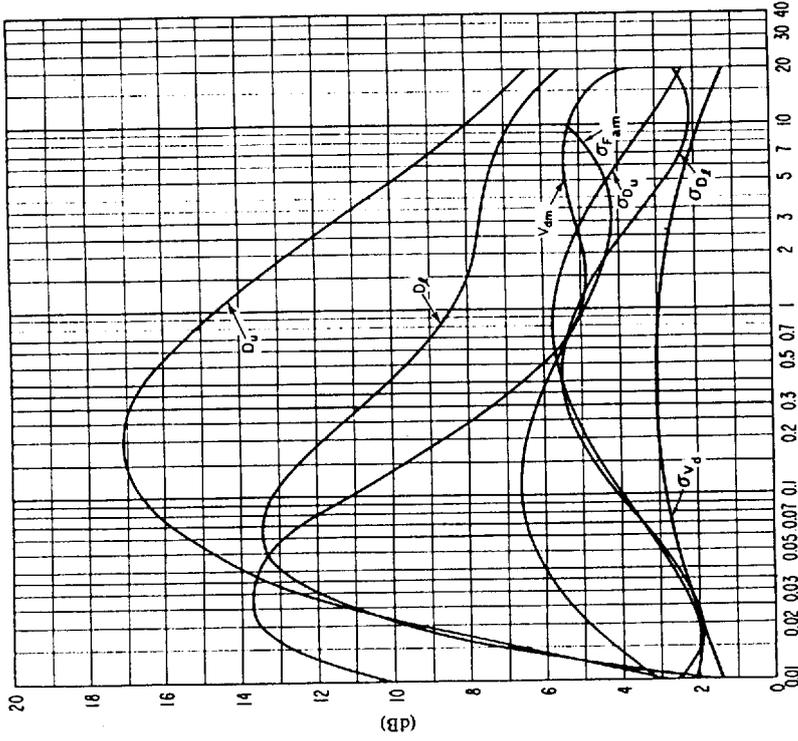
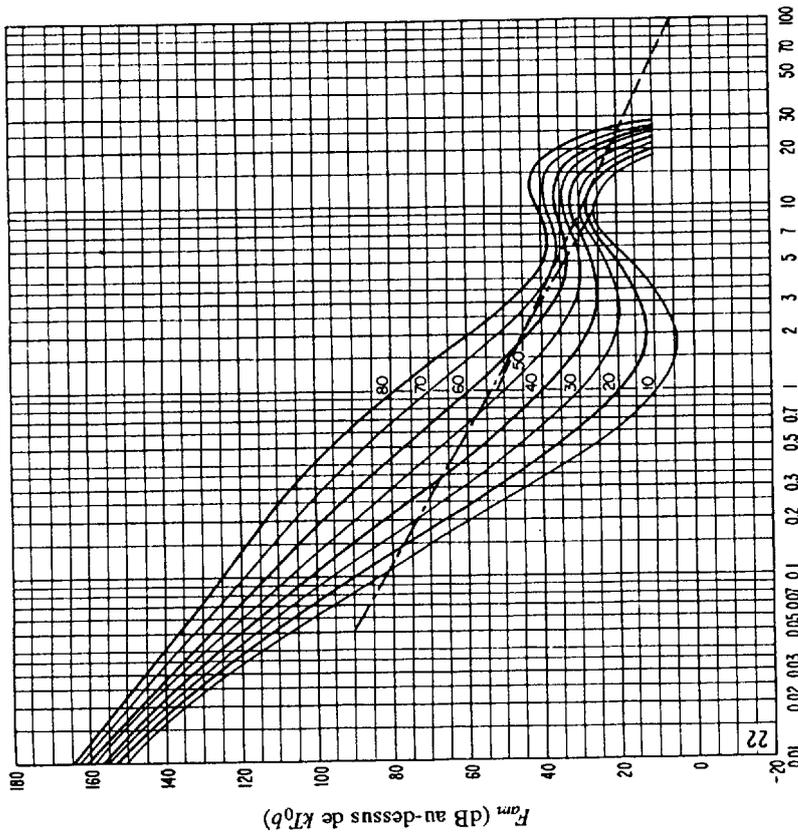


FIGURE 35a - Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{om} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Automne; 0800-1200 heure locale)



Fréquence (MHz)

FIGURE 35c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Automne; 0800-1200 heure locale)



Fréquence (MHz)

FIGURE 35b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Automne; 0800-1200 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

Voir la légende de la Fig. 15b

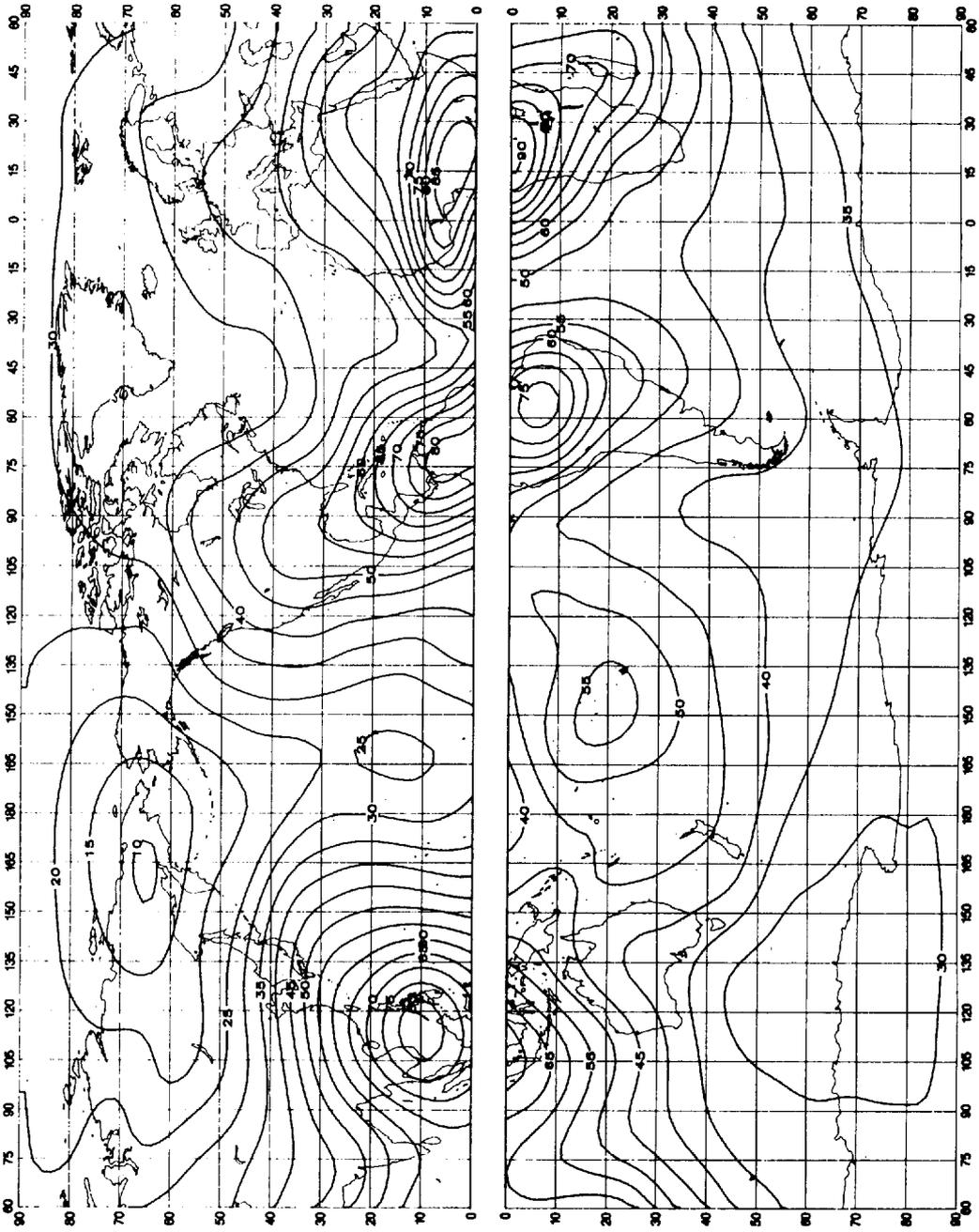


FIGURE 36a – Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Automne; 1200-1600 heure locale)

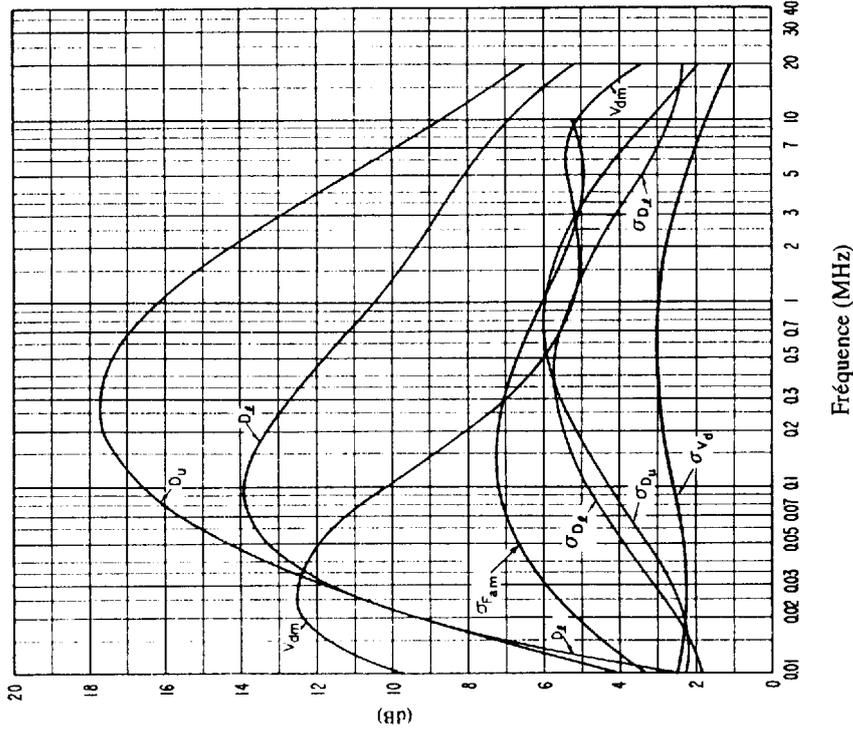


FIGURE 36c – Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Automne; 1200-1600 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-36b

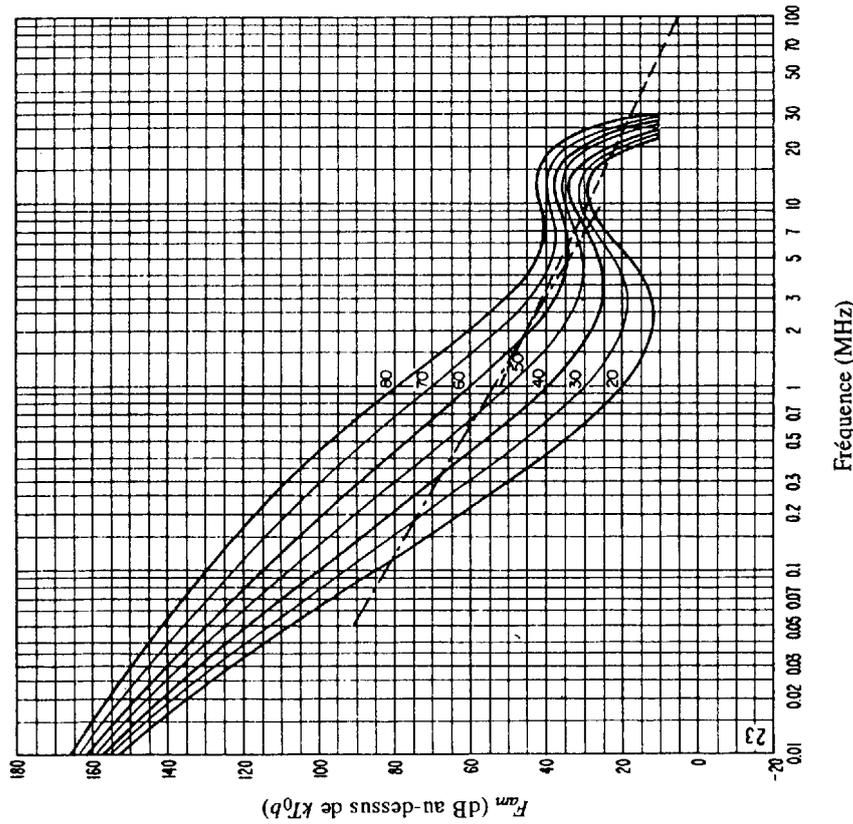


FIGURE 36b – Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Automne; 1200-1600 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

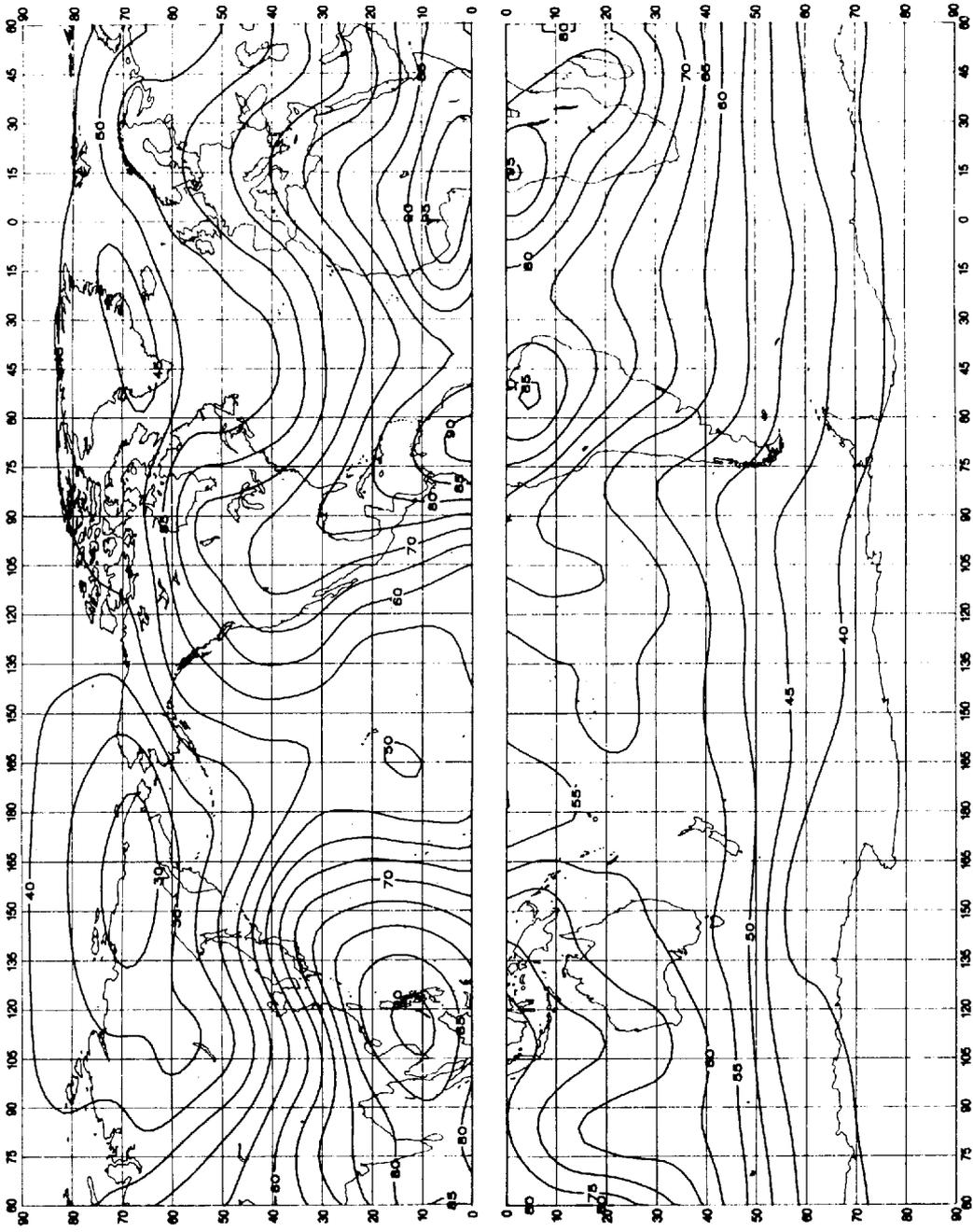


FIGURE 37a - Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, F_{am} , en dB au-dessus de kT_0b à 1 MHz (Automne; 1600-2000 heure locale)

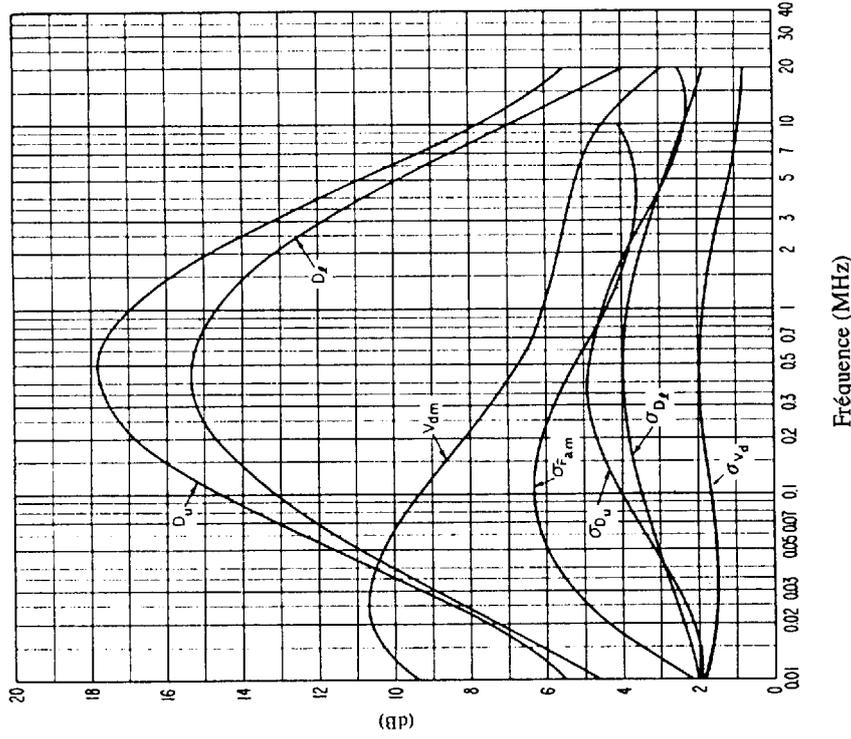


FIGURE 37c -- Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Automne; 1600-2000 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

0372-37b

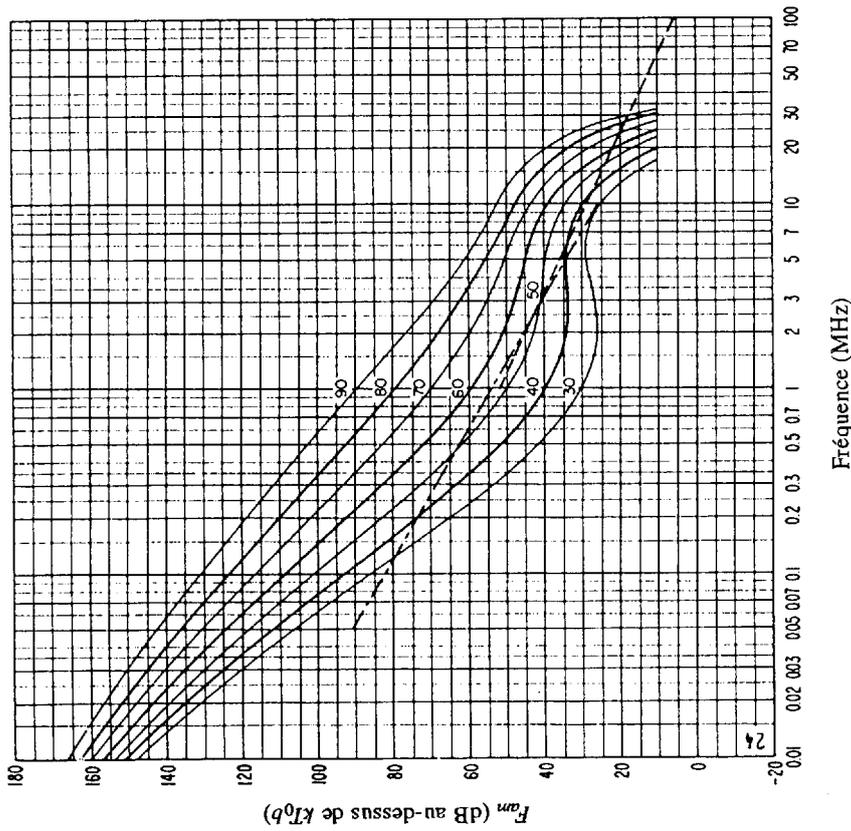


FIGURE 37b -- Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Automne; 1600-2000 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15b

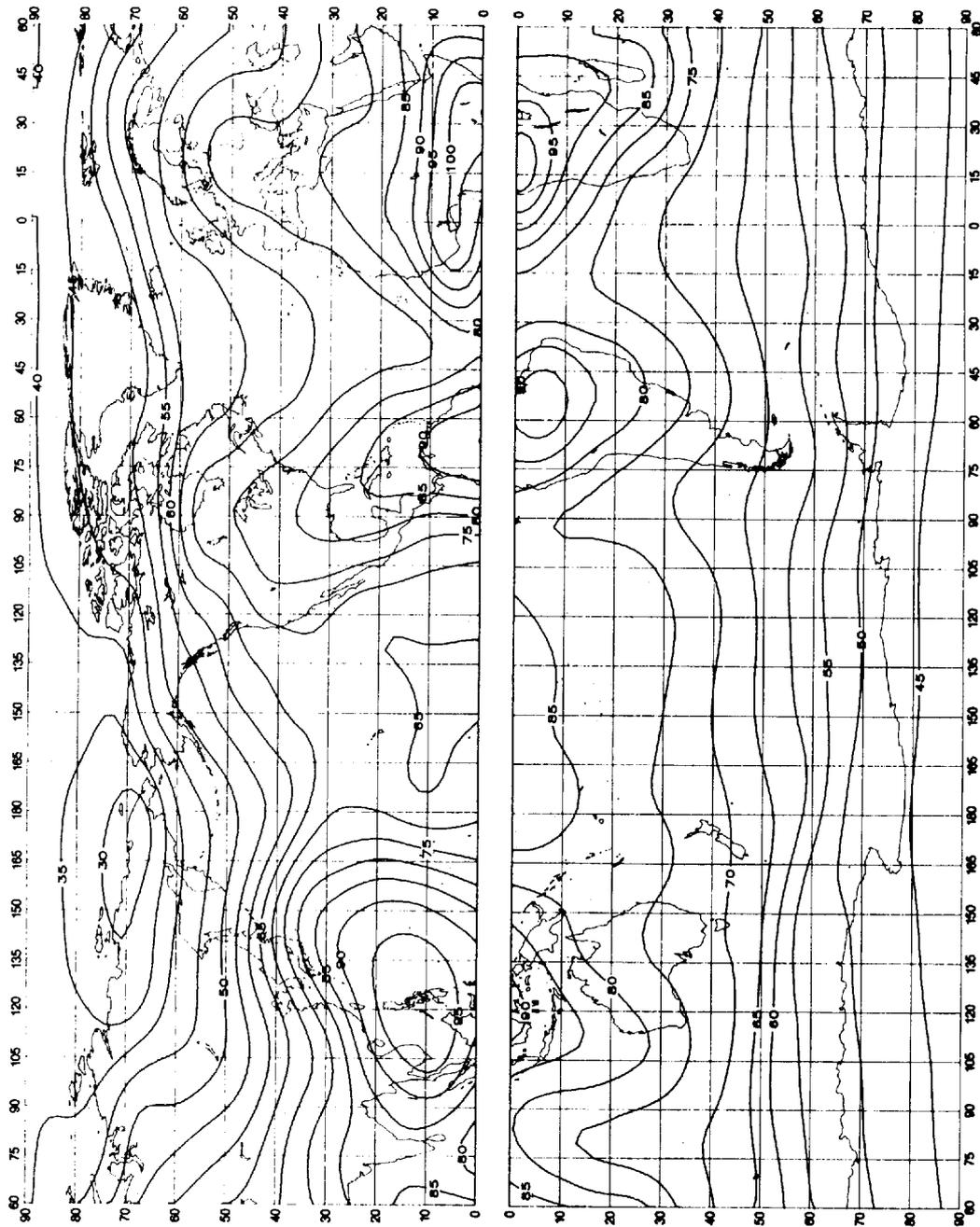


FIGURE 38a - Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique, $F_{0.1}$, en dB au-dessus de $kT_{0.1}$ à 1 MHz (Automne; 2000-2400 heure locale)

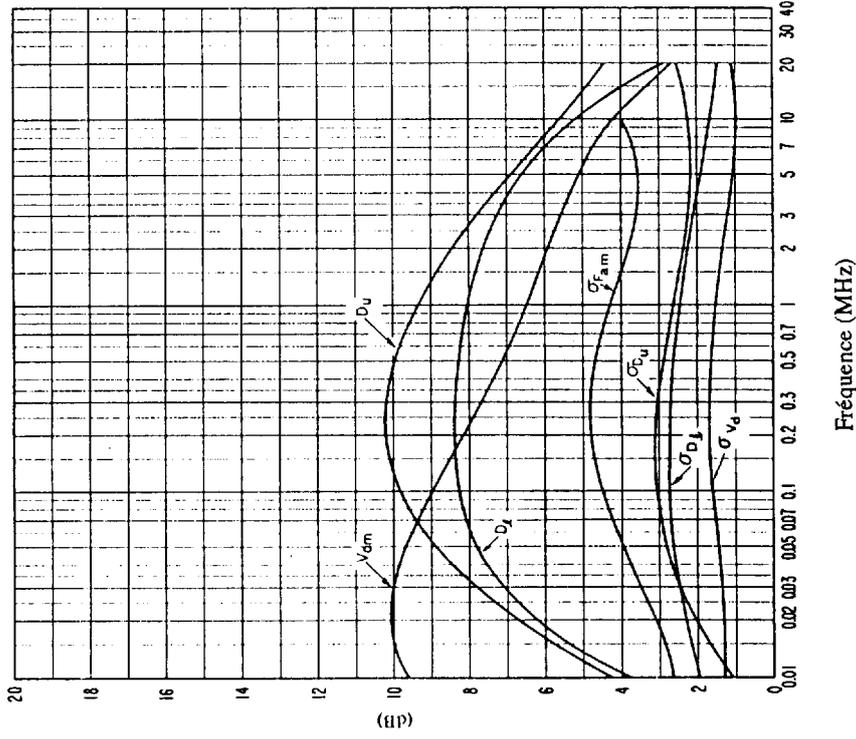


FIGURE 38c -- Données sur la variabilité et le caractère du bruit (Automne; 2000-2400 heure locale)

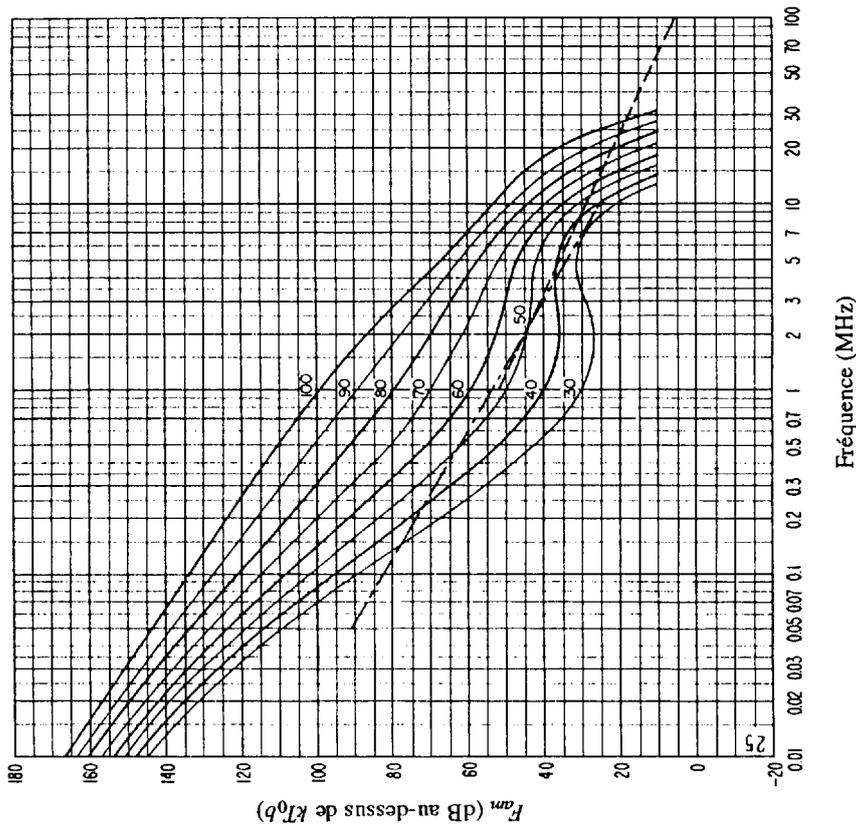
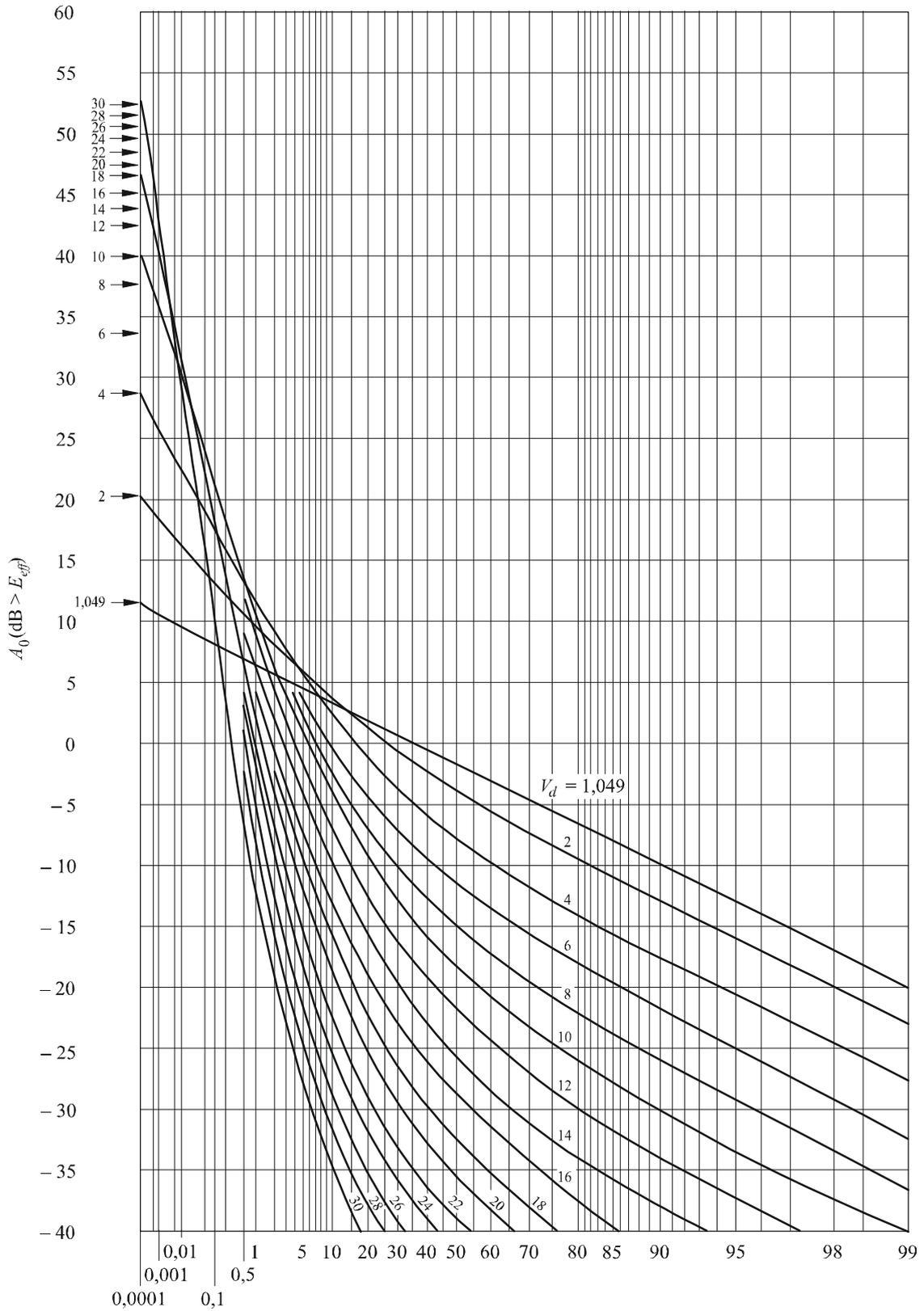


FIGURE 38b -- Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence (Automne; 2000-2400 heure locale)

Voir la légende de la Fig. 15c

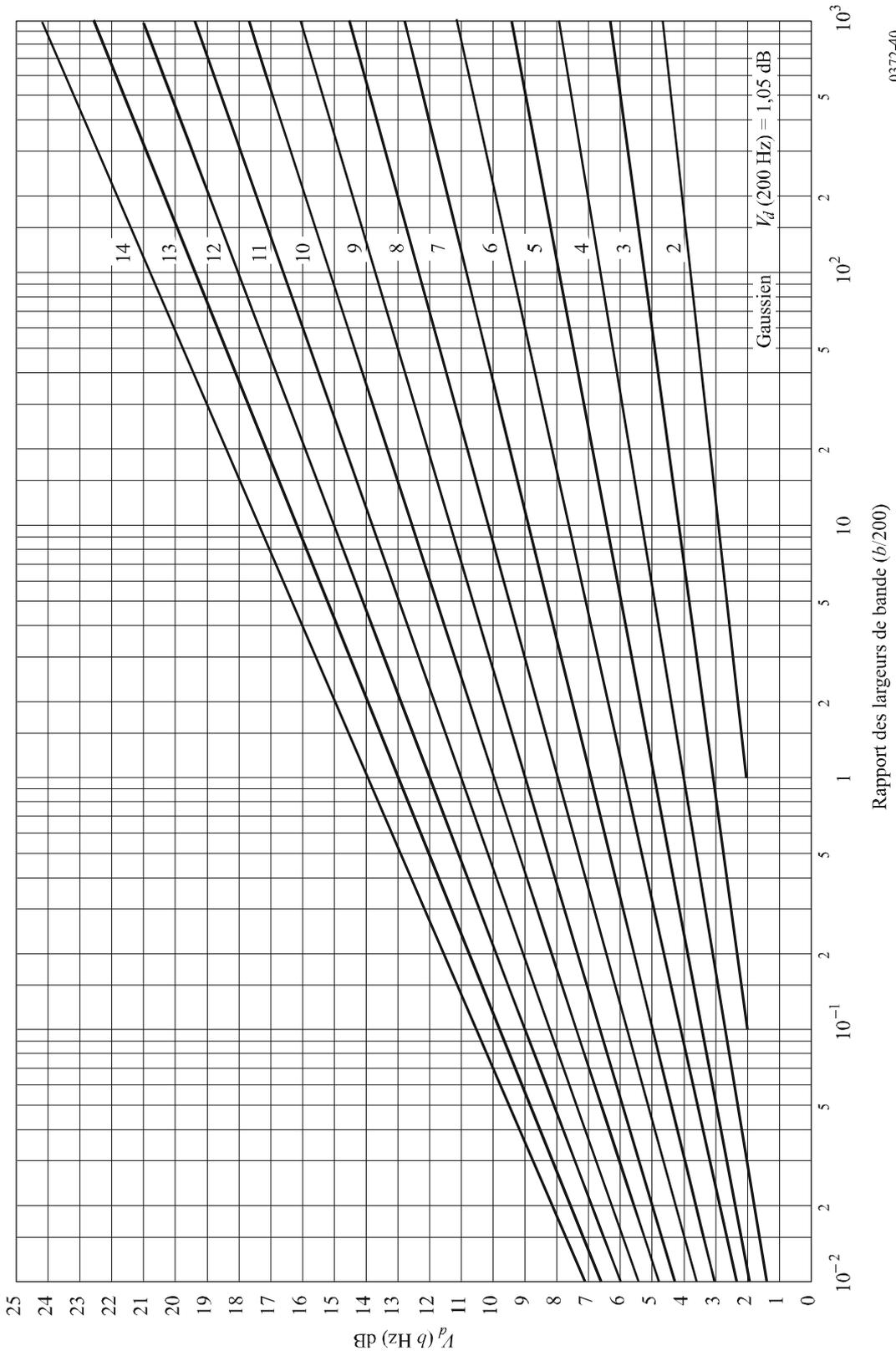
Voir la légende de la Fig. 15b

FIGURE 39
 Distributions de probabilité d'amplitude du bruit atmosphérique radioélectrique
 pour différentes valeurs de V_d



Pourcentage du temps pendant lequel la valeur de l'ordonnée est dépassée

FIGURE 40
 Conversion des valeurs de V_a variables pour une largeur de bande de 200 Hz, V_{amp} , V_d variables pour d'autres largeurs de bande, b



0372-40