

# **Recommandation UIT-R P.372-17**

**(08/024)**

Série P: Propagation des ondes radioélectriques

## **Bruit radioélectrique**

## 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 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 œuvre 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

(Également disponible en ligne: <https://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
<b>P</b>	<b>Propagation des ondes radioélectriques</b>
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	Émissions 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, 2024

© UIT 2024

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.372-17

**Bruit radioélectrique\***

(Question UIT-R 214/3)

(1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-2001-2003-2007-2009-2013-2015-2016-2019-2021-2022-2024)

**Domaine d'application**

La Recommandation UIT-R P.372 fournit des informations sur les niveaux du bruit<sup>1</sup> de fond radioélectrique dans la gamme des fréquences comprises entre 0,1 Hz et 100 GHz. Elle prend en compte le bruit émis par les éclairs, les gaz atmosphériques, les nuages, la pluie, la surface de la Terre, la galaxie et les sources artificielles. Les facteurs de bruit ou les températures sont indiqués pour servir de base à l'évaluation de la qualité de fonctionnement des systèmes.

**Mots clés**

Bruit radioélectrique, facteur de bruit, température de bruit, température de brillance du ciel.

**Abréviations/Glossaire**

amsl	au-dessus du niveau moyen de la mer ( <i>above mean sea level</i> )
IDWM	carte mondiale numérisée de l'UIT ( <i>ITU digitized world map</i> )
LoS	visibilité directe ( <i>line-of-sight</i> )

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 l'analyse de la qualité de fonctionnement et la conception des systèmes;
- c) 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;
- d) que le bruit radioélectrique provenant de sources artificielles contribue dans une large mesure à limiter certaines applications radioélectriques;
- e) que la Recommandation UIT-R SM.1753 décrit des méthodes de mesure du bruit radioélectrique;

---

\* Un programme informatique supplémentaire associé au calcul du bruit atmosphérique dû aux éclairs, du bruit artificiel et du bruit galactique, à des fréquences inférieures à environ 100 MHz, décrit dans la présente Recommandation, est disponible ici: <https://github.com/ITU-R-Study-Group-3/ITU-R-HF/releases/tag/v14.3>.

<sup>1</sup> Les termes «bruit radioélectrique» et «bruit RF» sont synonymes.

f) que la Recommandation UIT-R SM.2093 décrit les méthodes de mesure d'un environnement radioélectrique en intérieur,

*recommande*

d'utiliser, s'il y a lieu, les données suivantes sur les niveaux du bruit de fond radioélectrique externe pour la conception et l'analyse des systèmes radioélectriques:

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
PARTIE 1.....	3
1.1 Sources de bruit radioélectrique .....	3
1.2 Termes pour spécifier l'intensité du bruit et leur interrelation.....	4
PARTIE 2.....	6
PARTIE 3.....	8
3.1 Bruit radioélectrique dû à l'atmosphère de la Terre pour les stations terriennes	10
3.2 Bruit radioélectrique dû à l'atmosphère de la Terre et à la surface de la Terre pour les stations spatiales.....	12
PARTIE 4.....	17
4.1 Température de brillance due aux sources extraterrestres .....	17
PARTIE 5.....	24
5.1 Bruit atmosphérique dû aux éclairs .....	24
PARTIE 6.....	99
6.1 Bruit artificiel en extérieur.....	99
6.2 Bruit artificiel en intérieur .....	101
PARTIE 7.....	102
7.1 Combinaison de bruits provenant de plusieurs sources.....	102

## PARTIE 1

**Généralités****1.1 Sources de bruit radioélectrique**

Le bruit radioélectrique est défini 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 présente Recommandation contient des données sur les origines du bruit radioélectrique émis par des sources externes au système de réception radioélectrique et reçu par le biais de l'antenne de référence. Les origines de ce bruit sont les suivantes:

- bruit naturel:
  - rayonnements provenant des gaz de l'atmosphère et des hydrométéores;
  - la surface de la Terre; par exemple, l'émissivité de la terre, des océans et autres obstacles se trouvant dans le faisceau de l'antenne;
  - rayonnements provenant de sources radioélectriques célestes;
  - rayonnements provenant des éclairs et autres décharges d'électricité statique;
- bruit artificiel:
  - spécifiquement pour les antennes en extérieur, rayonnements non intentionnels cumulés provenant des machines électriques, des réseaux et des équipements électriques et électroniques, des lignes électriques, des communications par courant porteur, des transferts d'énergie sans fil, des équipements industriels, scientifiques et médicaux (ISM), ou des systèmes d'allumage de moteurs à combustion interne, ainsi que rayonnements électromagnétiques provenant d'enceintes, de lignes de transmission et de câbles dont le blindage est insuffisant;
  - en intérieur ou pour les antennes situées à proximité d'obstacles, rayonnements non intentionnels cumulés, comme ci-dessus, dans la mesure du possible, mais comprenant aussi les niveaux de rayonnement types provenant d'une ou de plusieurs sources, dans des environnements types définis.

NOTE 3 – Les estimations des niveaux de bruit radioélectrique indiquées ici ne comprennent pas les signaux associés aux services radioélectriques qui sont également présents: cela signifie que les émissions brouilleuses provenant d'émetteurs ou de récepteurs individuels peuvent faire partie du niveau de bruit cumulé reçu.

NOTE 4 – La présente Recommandation fournit uniquement des informations sur le bruit radioélectrique qui parvient au récepteur par le biais de l'antenne et du câble d'alimentation ou du guide d'ondes. Elle ne tient pas compte du bruit susceptible de parvenir au récepteur par le biais d'autres structures ou câbles conducteurs, ni du bruit susceptible d'être reçu en raison d'un blindage inadapté ou d'un équilibre inapproprié entre le câble d'alimentation et les connexions, etc.

NOTE 5 – 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.

## 1.2 Termes pour spécifier l'intensité du bruit et leur interrelation

Le bruit d'un récepteur est la résultante de l'ensemble des sources de bruit captées aux bornes de réception du système. Il faut tenir compte à la fois du bruit externe et du bruit interne généré dans le récepteur. Le seul point de référence permettant de déterminer le bruit total de fonctionnement d'un récepteur radioélectrique est le point d'entrée d'une antenne de réception équivalente sans perte (les bornes de cette antenne sans perte n'existent pas physiquement).

Ce bruit peut être exprimé sous la forme d'un facteur de bruit,  $f$ , par rapport au bruit thermique, sous la forme d'une température de bruit équivalente ou d'une intensité de champ électrique.

### 1.2.1 Facteur de bruit

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 par:

$$f_a = \frac{P_n}{k T_0 b} \quad (2)$$

NOTE 1 –  $F_a$ : facteur 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 interne du récepteur

NOTE 2 –  $F_r$ : facteur de bruit du récepteur défini par:

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

$f_c$  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:

$$P_n = 10 \log p_n \quad (p_n: \text{puissance disponible (W)})$$

$$B = 10 \log b, \text{ et } -204 = 10 \log k T_0.$$

### 1.2.2 Champ efficace du bruit

À partir des estimations de  $F_a$ , 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.

Pour une courte antenne unipolaire verticale, ( $h \ll \lambda$ ) au-dessus d'un sol plan parfaitement conducteur, 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  $b$

$f_{\text{MHz}}$ : fréquence centrale (MHz).

De même, pour une antenne isotrope de référence en espace libre:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 96,8 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (8)$$

### 1.2.3 Température de bruit

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.

### 1.2.4 Variabilité du bruit

La puissance de bruit, 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. Étant 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.

## PARTIE 2

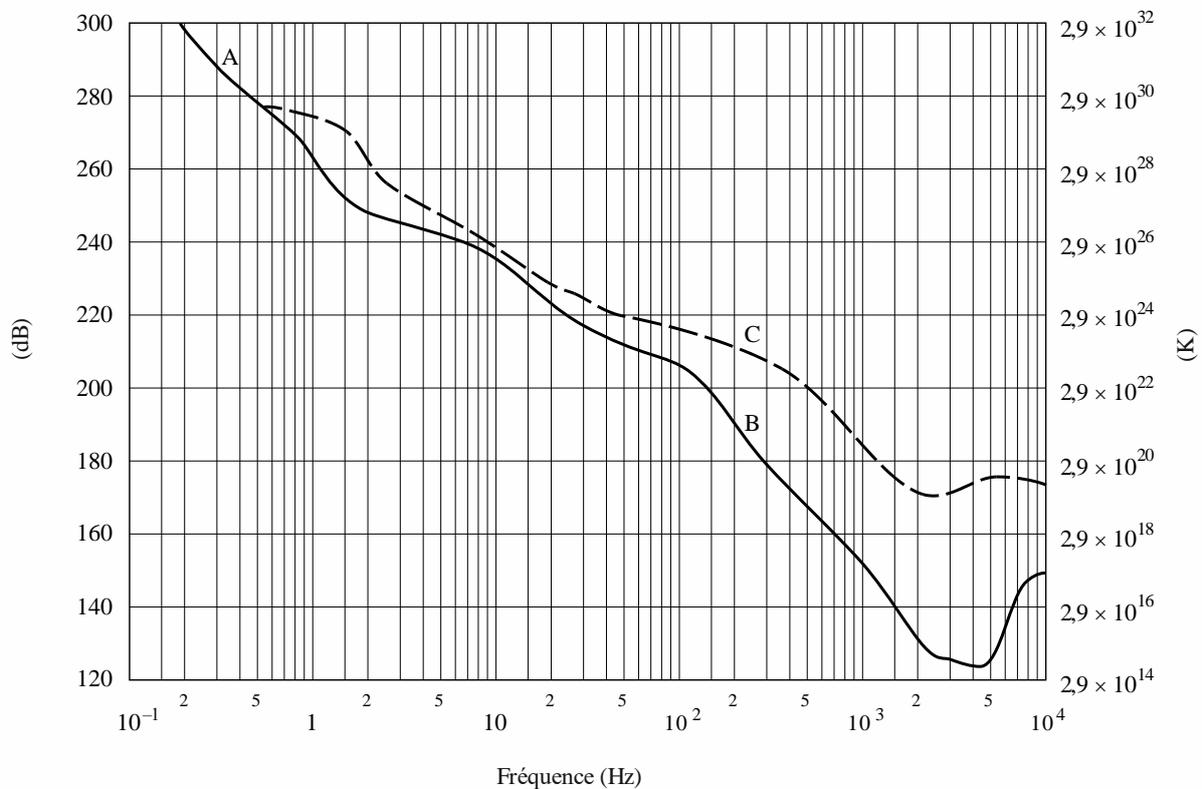
## Niveaux de bruit en fonction de la fréquence

Les trois Figures ci-après et l'analyse correspondante spécifient 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 trois 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 Figure 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 10 000 Hz est due à la variabilité de la fréquence de coupure du conduit Terre-ionosphère.

FIGURE 1

$F_2$  valeur minimale et maximale, en fonction de la fréquence ( $10^{-1}$  à  $10^4$  Hz)



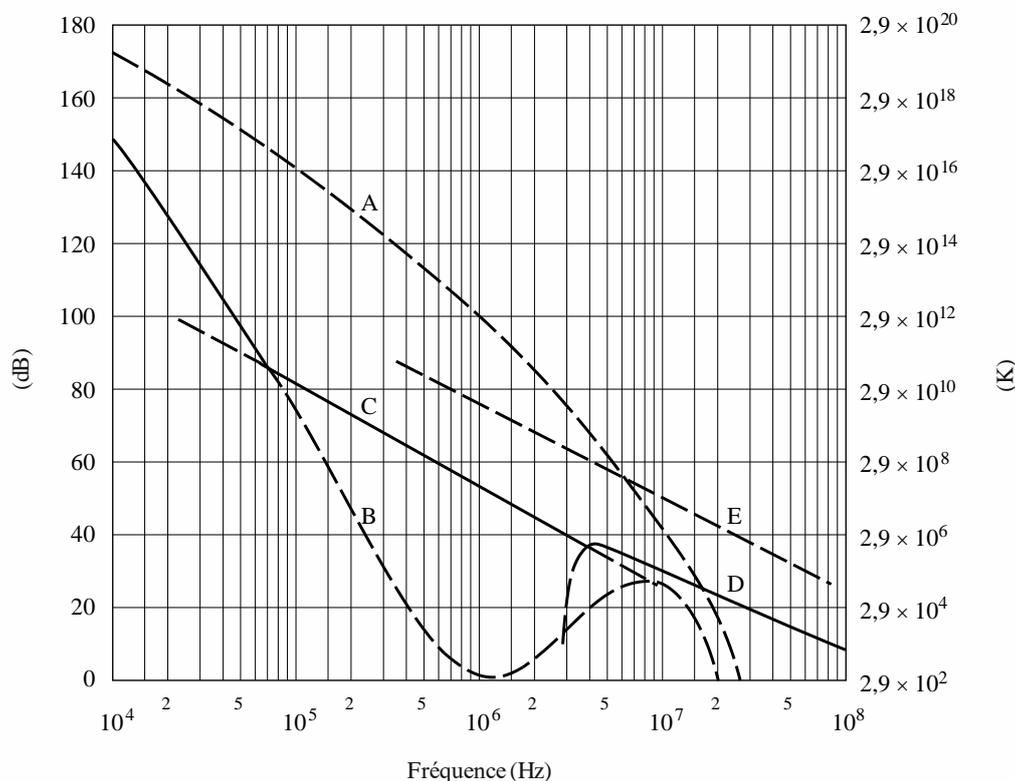
A: micro-impulsions  
 B: valeur minimale attendue du bruit atmosphérique  
 C: valeur maximale attendue du bruit atmosphérique

P.0372-01

La Figure 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 dû aux éclairs, 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. Toutes les heures du jour, toutes les saisons et la totalité de la surface de la Terre ont été prises en considération.

FIGURE 2  
 $F_a$  en fonction de la fréquence ( $10^4$  à  $10^8$  Hz)



- A: bruit atmosphérique, valeur dépassée pendant 0,5% du temps
- B: bruit atmosphérique, valeur dépassée pendant 99,5% du temps
- C: bruit artificiel, emplacement de réception calme
- D: bruit galactique
- E: valeur médiane du bruit artificiel dans un quartier urbain

———— Niveau de bruit minimal attendu

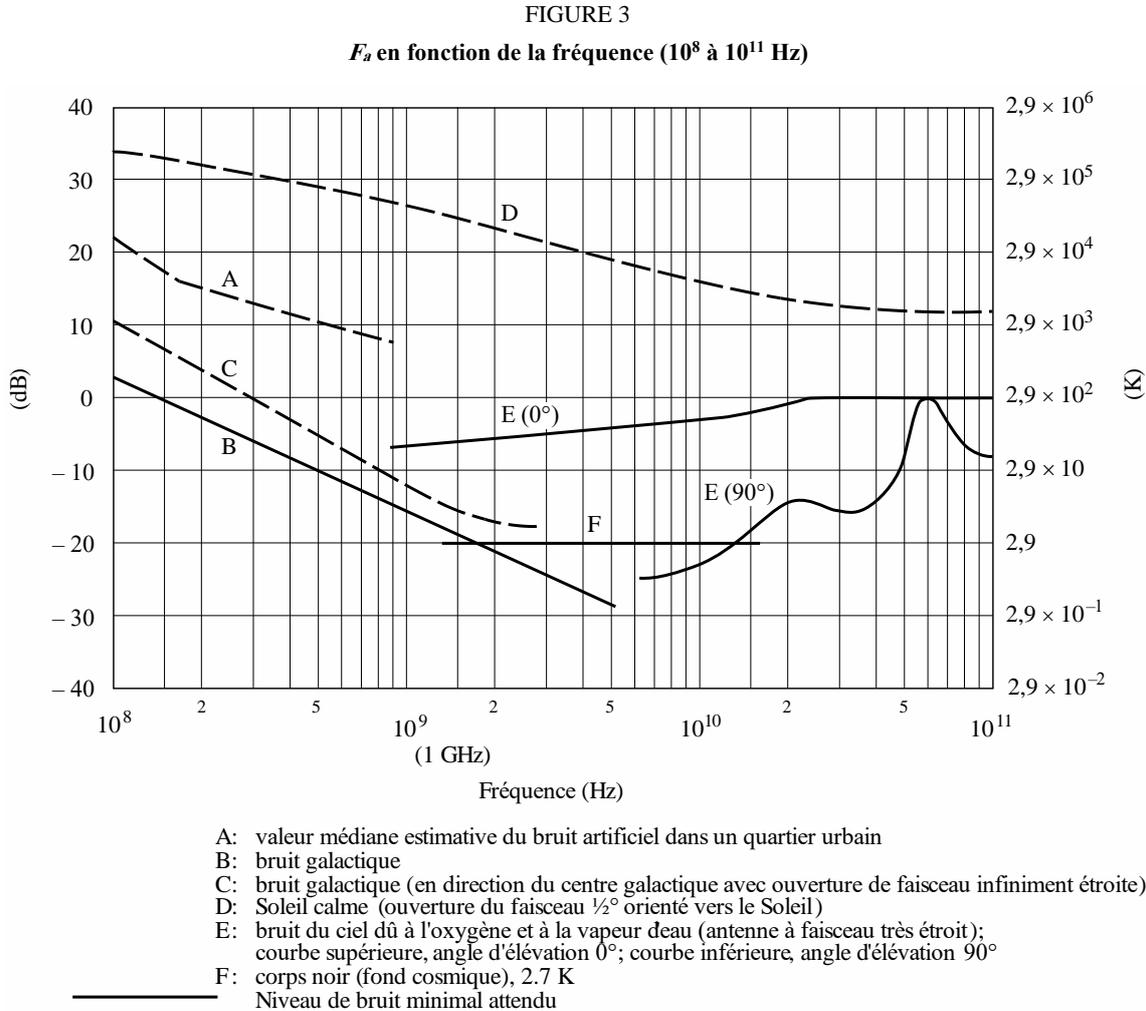
P.0372-02

La Figure 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 Figures 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.

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» (Figs 2 et 3). Les mesures montrent une variation de  $\pm 2$  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.



### PARTIE 3

## 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).

Les Figures 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.

FIGURE 4

**Température de brillance (atmosphère claire) pour une concentration en vapeur d'eau de 7,5 g/m<sup>3</sup> (température et pression au sol 15°C et 1 023 mb);  $\theta$  est l'angle d'élévation**

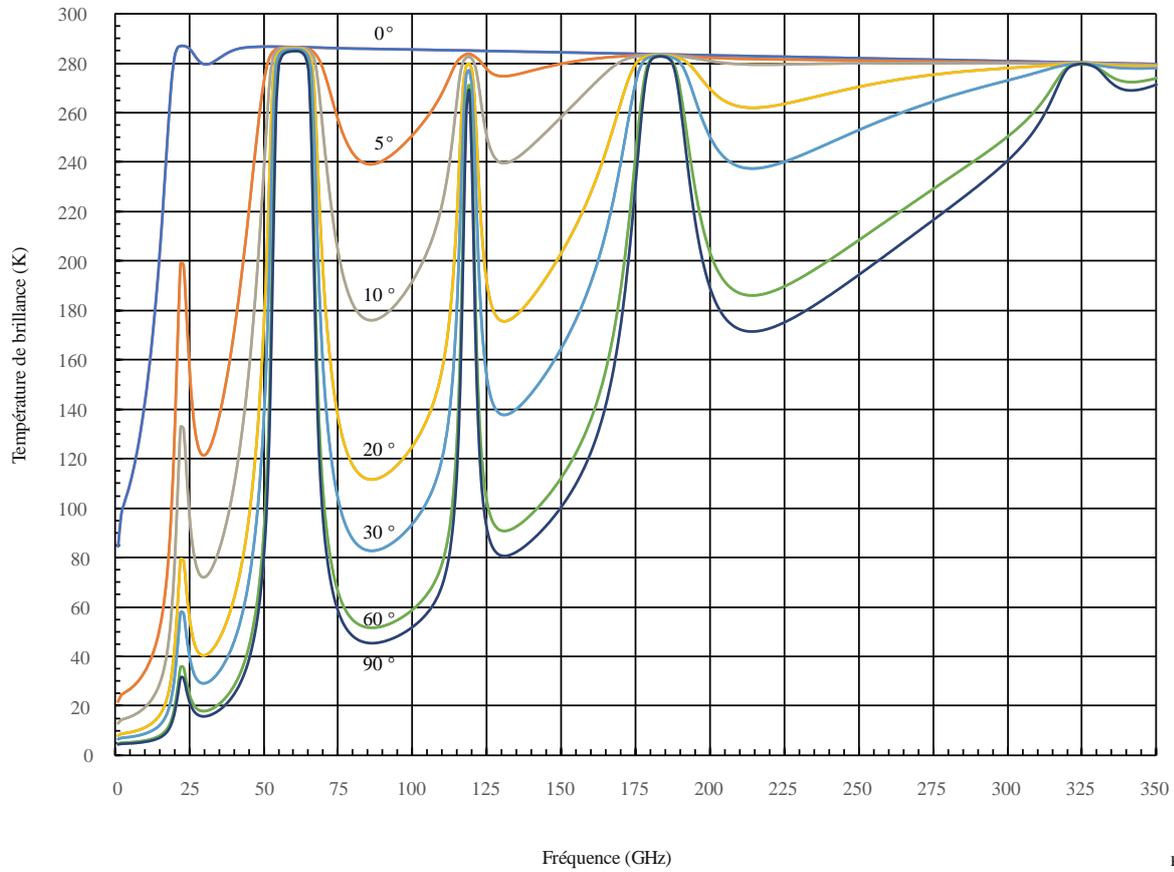
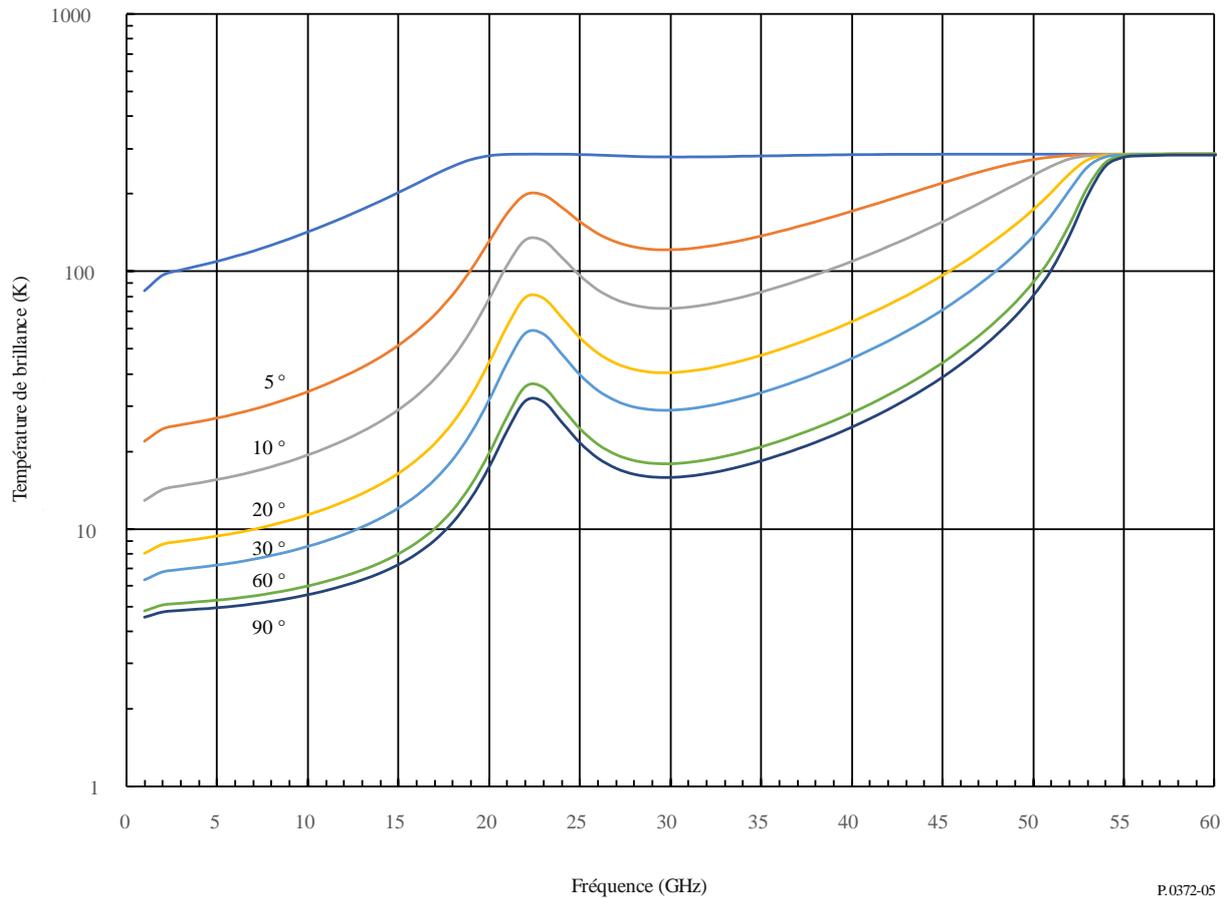


FIGURE 5

Température de brillance (atmosphère claire) pour une concentration en vapeur d'eau de 7,5 g/m<sup>3</sup> (élargissement de l'échelle des abscisses de la Fig. 4);  $\theta$  est l'angle d'élévation



P.0372-05

### 3.1 Bruit radioélectrique dû à l'atmosphère de la Terre pour les stations terriennes

#### 3.1.1 Méthode de prévision de la température de brillance instantanée

Il est possible de prévoir la température de brillance instantanée du ciel,  $T_B(f)$ , en kelvins, à toute fréquence, tout angle d'élévation et tout emplacement souhaités à la surface de la Terre, à partir de l'affaiblissement total instantané simultané (à l'exclusion des évanouissements dus à la scintillation) et des valeurs à la surface de la pression (barométrique) totale, de la température et de la densité de vapeur d'eau à l'emplacement considéré, au moyen de l'équation suivante:

$$T_B(f) = 2,73 \cdot 10^{-\frac{A_T(f,\theta)}{10}} + T_{mr}(f, T_s, P_s, \rho_{w_s}) \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_T(f,\theta)}{10}}\right) \quad (\text{K}) \quad (10)$$

où:

$$T_{mr}(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = \begin{cases} a_t(f) + b_t(f) \cdot T_s + c_t(f) \cdot P_s + d_t(f) \cdot \rho_{w_s}, & \text{sans précipitations} \\ 275, & \text{en présence de précipitations} \end{cases} \quad (\text{K}) \quad (11)$$

et:

$f$ : fréquence en GHz; sans précipitations:  $1 \leq f \leq 200$  GHz; en présence de précipitations:  $1 \leq f \leq 55$  GHz

$P_s$ : pression (barométrique) totale instantanée à la surface, en hPa, à l'emplacement souhaité

- $T_s$ : température instantanée à la surface, en kelvins, à l'emplacement souhaité
- $\rho_{w_s}$ : densité de vapeur d'eau instantanée à la surface, en  $\text{g/m}^3$ , à l'emplacement souhaité
- $\theta$ : angle d'élévation à la surface de la Terre, à l'emplacement souhaité
- $A_T(f, \theta)$ : affaiblissement atmosphérique total instantané à l'exclusion des évanouissements dus aux scintillations, en dB, pour le trajet oblique espace vers Terre souhaité.

Les coefficients  $a_t$ ,  $b_t$ ,  $c_t$  et  $d_t$  à la fréquence considérée doivent être calculés par interpolation linéaire entre les fréquences figurant dans le fichier de données Tmr\_approx.txt, qui fait partie intégrante de la présente Recommandation. Ce fichier contient respectivement, dans les colonnes 2, 3, 4 et 5, les coefficients  $a_t$ ,  $b_t$ ,  $c_t$  et  $d_t$  pour les fréquences de 1 GHz à 200 GHz, par incréments de 0,5 GHz en colonne 1.



Tmr\_approx.txt

### 3.1.2 Méthode de prévision de la température de brillance statistique

Il est possible de prévoir la température de brillance du ciel statistique,  $T_B(f, p)$ , en kelvins, à toute fréquence, tout angle d'élévation et tout emplacement souhaités à la surface de la Terre, et pour une probabilité de dépassement (CCDF),  $p$ , en %, donnée, à partir de l'affaiblissement total (à l'exclusion des évanouissements dus à la scintillation) en fonction de la probabilité de dépassement et des valeurs moyennes à la surface de la pression (barométrique) totale, de la température et de la densité de vapeur d'eau à l'emplacement considéré, au moyen de l'équation suivante:

$$T_B(f, p) = 2,73 \cdot 10^{-\frac{A_T(f,p,\theta)}{10}} + T_{mr}(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_T(f,p,\theta)}{10}}\right) \quad (\text{K}) \quad (12)$$

où:

$$T_{mr}(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) = \begin{cases} a_t(f) + b_t(f) \cdot \bar{T}_s + c_t(f) \cdot \bar{P}_s + d_t(f) \cdot \bar{\rho}_{w_s}, & \text{sans précipitations} \\ 275, & \text{en présence de précipitations} \end{cases} \quad (\text{K}) \quad (13)$$

et:

- $f$ : fréquence, en GHz, sans précipitations:  $1 \leq f \leq 200$  GHz;  
en présence de précipitations:  $1 \leq f \leq 55$  GHz
- $\bar{P}_s$ : pression (barométrique) totale moyenne à la surface, en hPa, à l'emplacement souhaité
- $\bar{T}_s$ : température moyenne à la surface, en kelvins, à l'emplacement souhaité
- $\bar{\rho}_{w_s}$ : densité de vapeur d'eau moyenne à la surface, en  $\text{g/m}^3$ , à l'emplacement souhaité
- $\theta$ : angle d'élévation à la surface de la Terre, à l'emplacement souhaité
- $A_T(f, p, \theta)$ : affaiblissement atmosphérique total, en dB, à l'exclusion des évanouissements dus aux scintillations à la probabilité de dépassement,  $p$ , pour le trajet oblique espace vers Terre souhaité.

Les coefficients  $a_t$ ,  $b_t$ ,  $c_t$  et  $d_t$  à la fréquence considérée doivent être calculés par interpolation linéaire entre les fréquences figurant dans le fichier de données Tmr\_approx.txt, qui fait partie intégrante de la présente Recommandation. Ce fichier contient respectivement, dans les

colonnes 2, 3, 4 et 5, les coefficients  $a_t$ ,  $b_t$ ,  $c_t$  et  $d_t$  pour les fréquences de 1 GHz à 200 GHz, par incréments de 0,5 GHz en colonne 1.



Tmr\_approx.txt

### 3.2 Bruit radioélectrique dû à l'atmosphère de la Terre et à la surface de la Terre pour les stations spatiales

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:

$$T = \varepsilon \cdot T_{surf} + \rho T_{atm} \quad (14)$$

avec:

$\varepsilon$ : pouvoir émissif équivalent de la surface

$\rho$ : 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  $\rho$  est en général élevé et le pouvoir émissif  $\varepsilon$  faible.

La Figure 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 Figure 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  $36 \times 10^{-3}$ .

Les Figures 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.

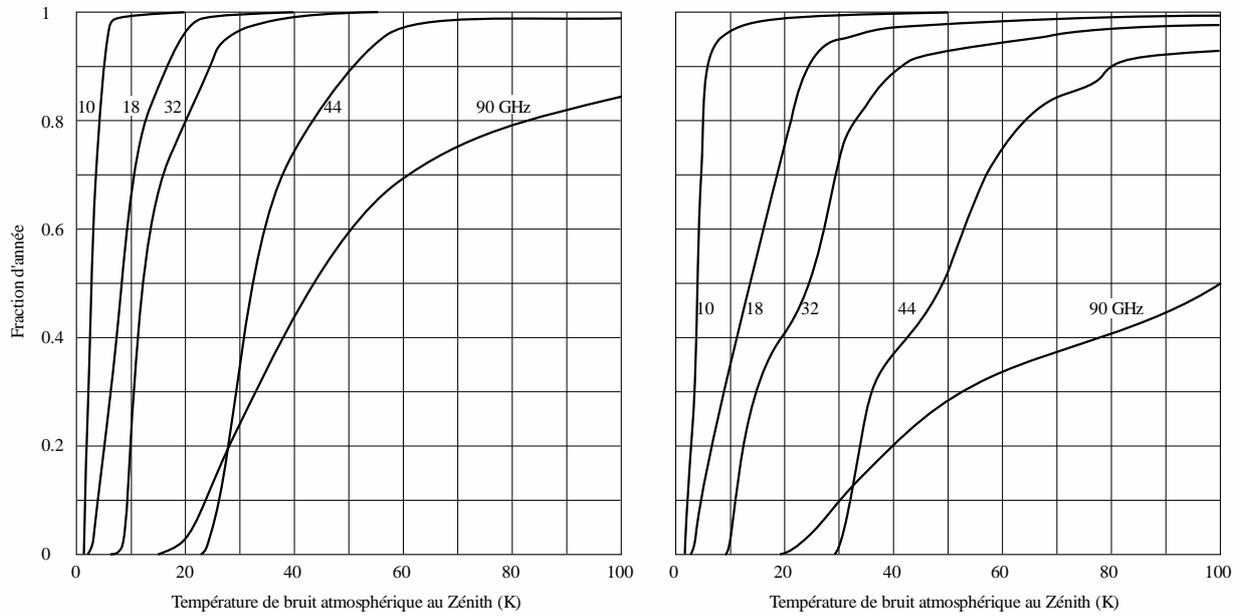
Les pouvoirs émissifs (et par conséquent les températures de brillance) des surfaces terrestres sont supérieurs à ceux de l'eau puisque les constantes diélectriques des sols sont inférieures. La Figure 8a) représente la température de brillance d'un sol régulier pour différents taux d'humidité; la Figure 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 Figure 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  $30^\circ$  de longitude est et de l'océan Pacifique (froid) à  $180^\circ$ - $150^\circ$  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 États-Unis d'Amérique, avec une concentration en vapeur d'eau de  $2,5 \text{ g/m}^3$  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  $0 \leq \varphi \leq 8,715$  ( $\varphi$  étant l'angle par rapport à l'axe de visée).

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

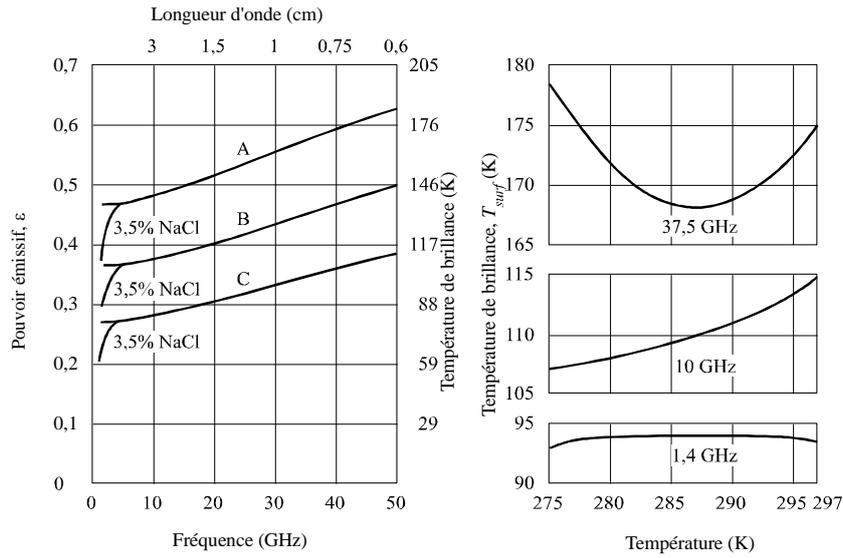


a) Yuma, Arizona, USA (1961; hauteur totale de pluie: 55 mm)

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

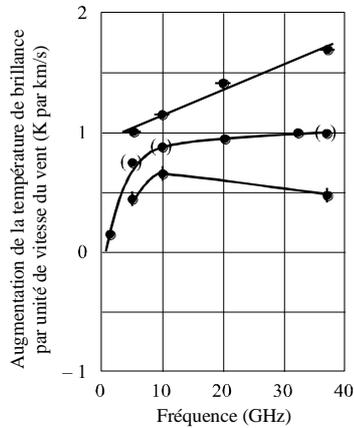
FIGURE 7

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

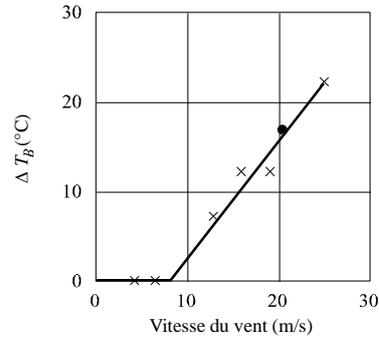


a) Pouvoir émissif d'une surface d'eau lisse  
 A: polarisation verticale  
 B: angles d'incidence de 45° et 0°  
 C: polarisation horizontale

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  $36 \times 10^{-3}$



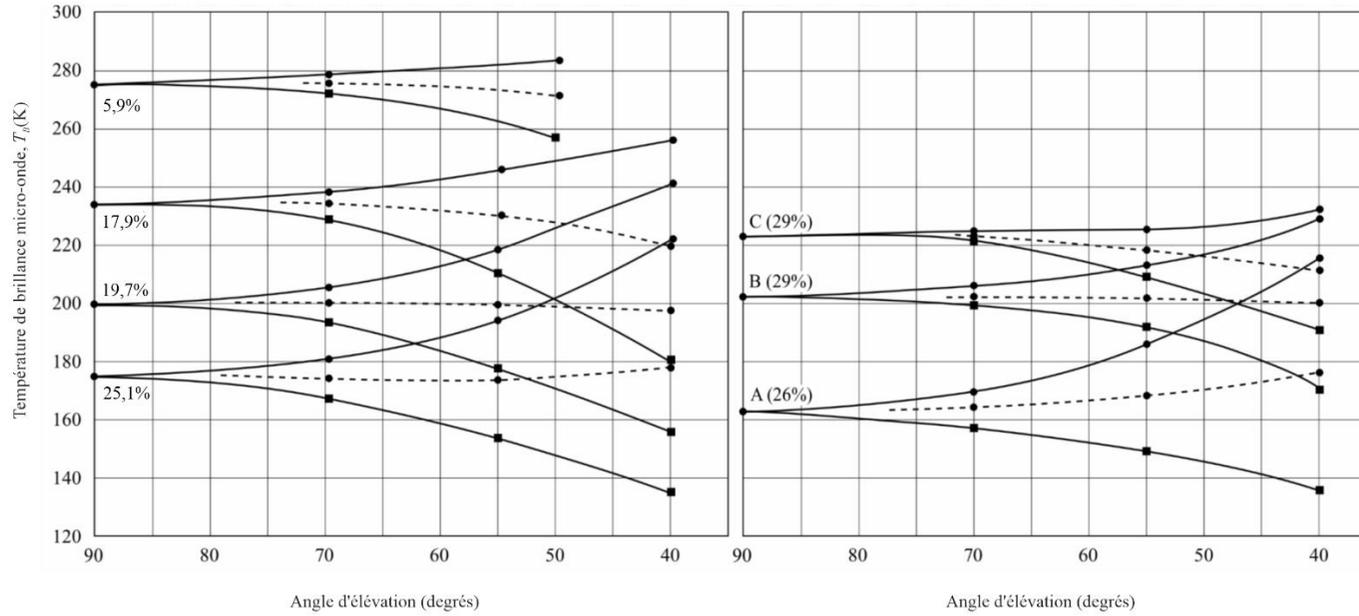
c) Spectre de l'augmentation de la température de brillance causée par le vent à la surface de l'océan  
 ● Nadir  
 ◆ Polarisation verticale (38°)  
 ■ Polarisation horizontale (38°)  
 ● Déduite



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

FIGURE 8

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



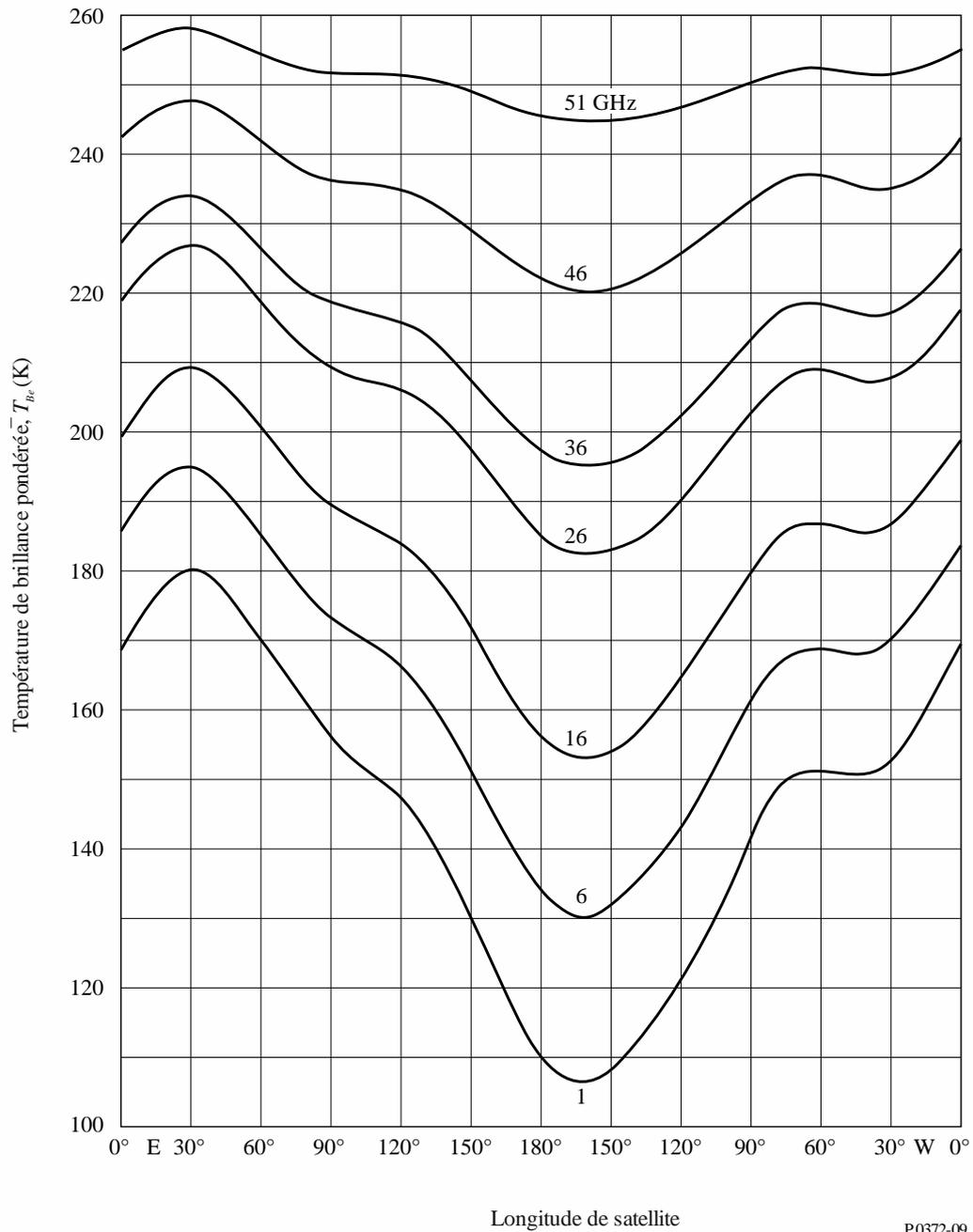
a) Pour des degrés d'humidité de 5,9% à 25,1% dans le cas d'un sol nu et régulier

b) Pour (A) un sol régulier (B) une irrégularité moyenne et (C) un sol très irrégulier (sillons profonds), le degré d'humidité étant indiqué

- Polarisation verticale,  $T_{BV}$
- Polarisation horizontale,  $T_{BH}$
- - -●- - - Polarisation circulaire,  $1/2 (T_{BV} + T_{BH})$

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



## PARTIE 4

**Température de brillance due aux sources extraterrestres****4.1 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:

$$F_{am} = 52 - 23 \log f \quad (\text{dB}) \quad (15)$$

où:

$f$ : fréquence (MHz).

Les écarts de la puissance moyenne du bruit galactique pour les déciles sont de  $\pm 2$  dB.

Dans de tels cas, la variation du bruit galactique pour les déciles 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 (16) 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. 10.

Les Figures 11a, 11b, 11c et 11d donnent les courbes de la température de l'ensemble du ciel radioélectrique à 408 MHz lissées avec une résolution angulaire de  $5^\circ$ . Elles sont données en coordonnées équatoriales, déclinaison  $\delta$  (latitude) et ascension droite  $\alpha$  (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 Figures 11a et 11d 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:

$$T_b(f_i) = T_b(f_0) (f_i/f_0)^{-2,75} + 2,7 \quad \text{K} \quad (16)$$

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

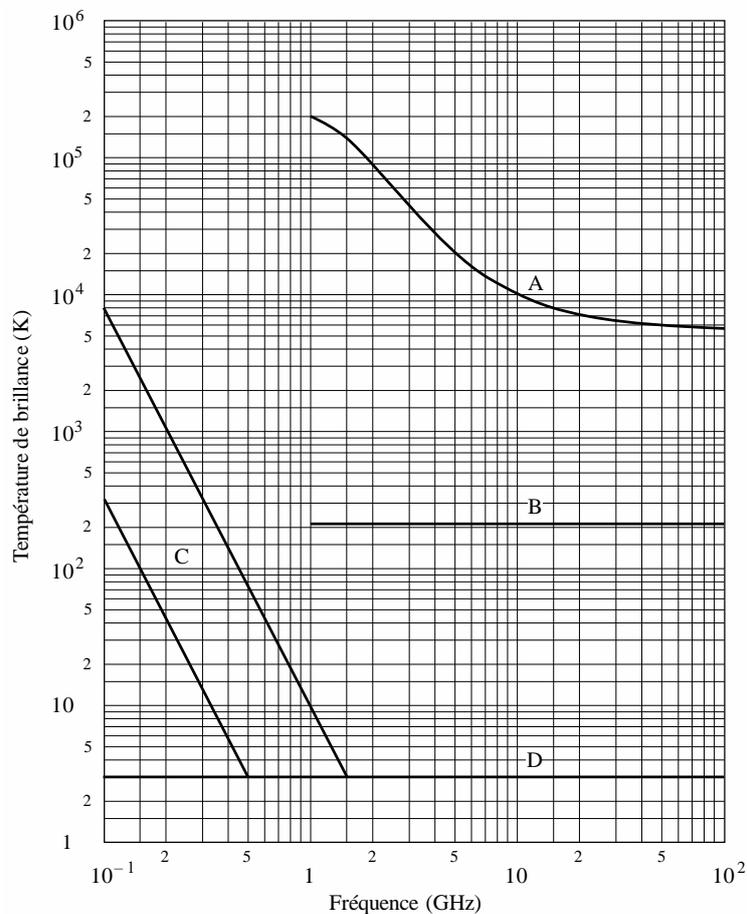
$$T_b = 19,7 \quad \text{K}$$

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. 12a. La Figure 12b donne la gamme correspondante des déclinaisons ( $\pm 8,7^\circ$ ) et indique les sources radioélectriques les plus intenses.

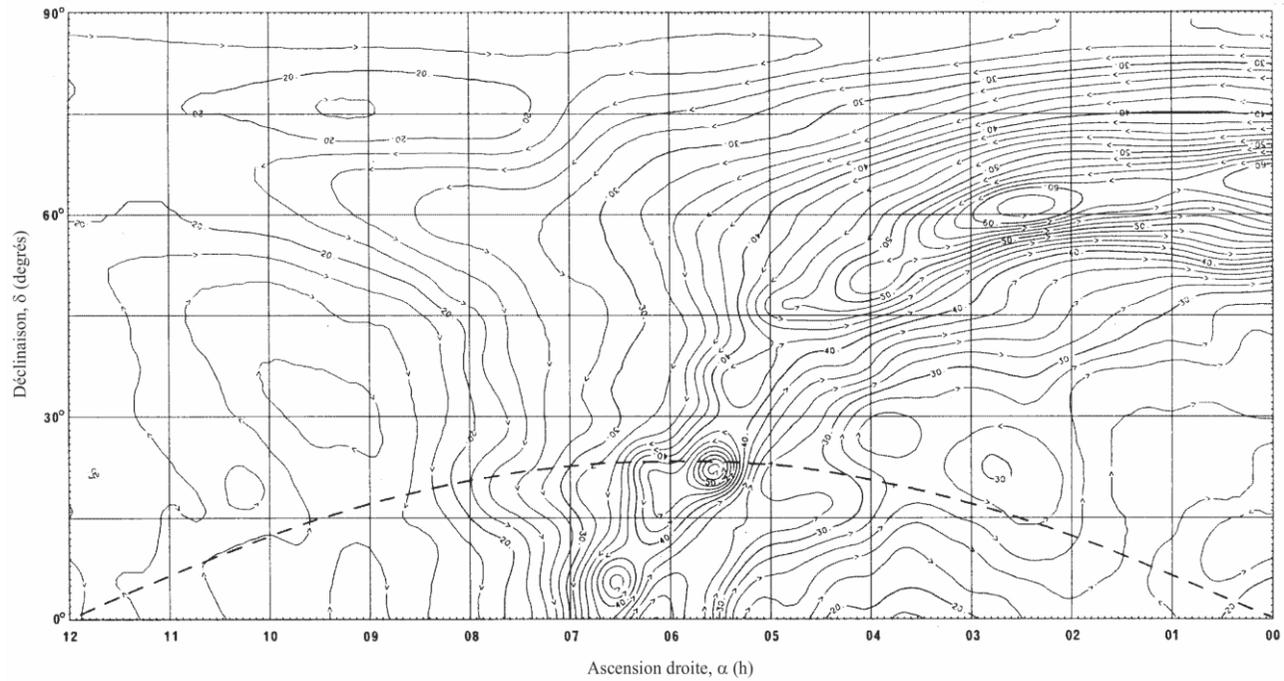
Le Soleil constitue une source importante de bruit variable; sa température de bruit est d'environ  $10^6$  K entre 50 et 200 MHz et d'au moins  $10^4$  K à 10 GHz en période de faible activité solaire. Ces valeurs augmentent fortement dans les périodes de perturbations solaires. La température de brillance 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. 11). La Lune est observée sous une déclinaison de  $\pm 5^\circ$  par rapport au plan de l'écliptique.

FIGURE 10  
Sources de bruits extraterrestres



- A: Soleil calme } Diamètre ~ 0,5°  
 B: Lune }  
 C: Gamme de bruits galactiques  
 D: Fond cosmique

FIGURE 11a  
Température du ciel radioélectrique à 408 MHz

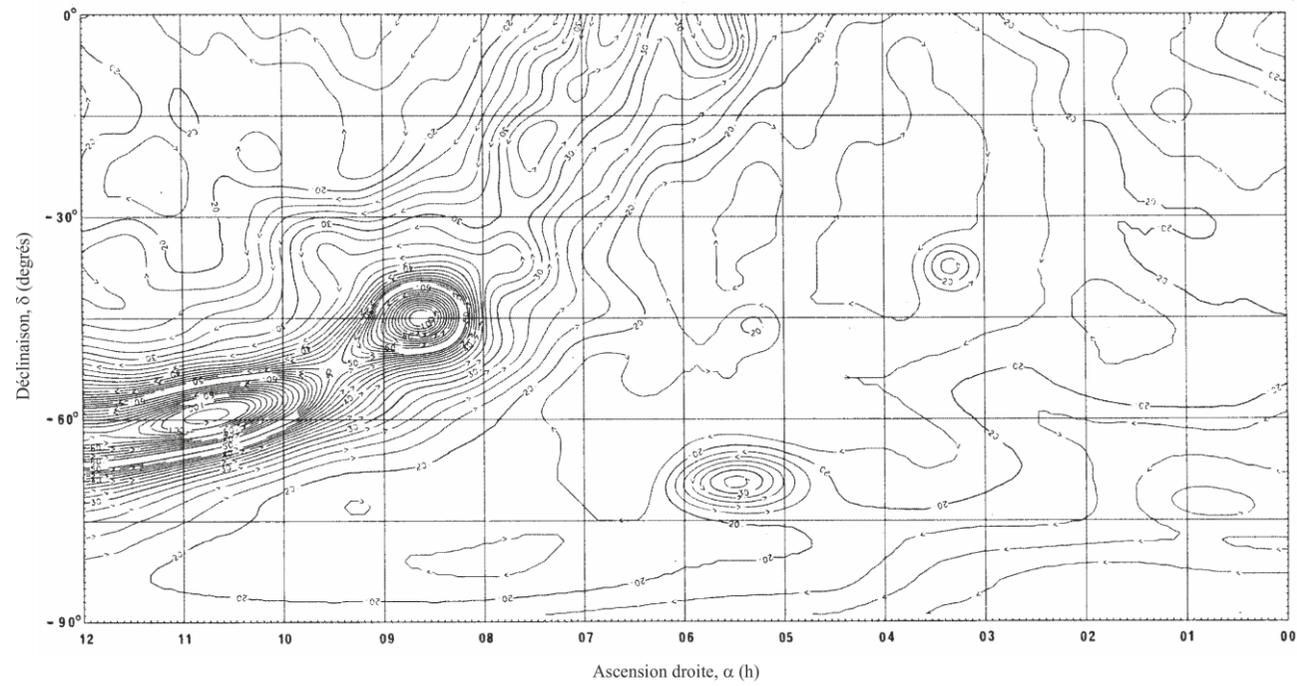


Ascension droite: 0000 h-1200 h, déclinaison 0° à +90°, courbe en tiret: écliptique

P0372-11a

FIGURE 11b

Température du ciel radioélectrique à 408 MHz

Ascension droite 0000 h-1200 h, déclinaison  $0^\circ$  à  $-90^\circ$ 

P0372-11b

FIGURE 11c

Température du ciel radioélectrique à 408 MHz

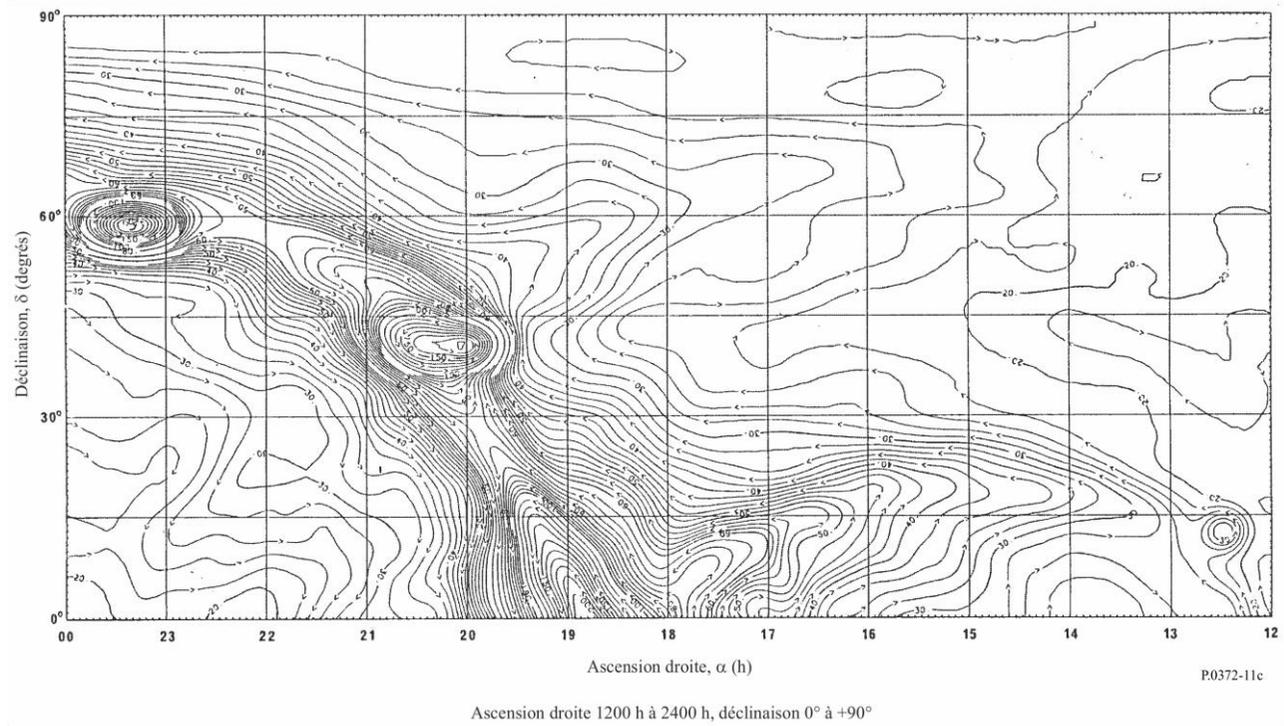
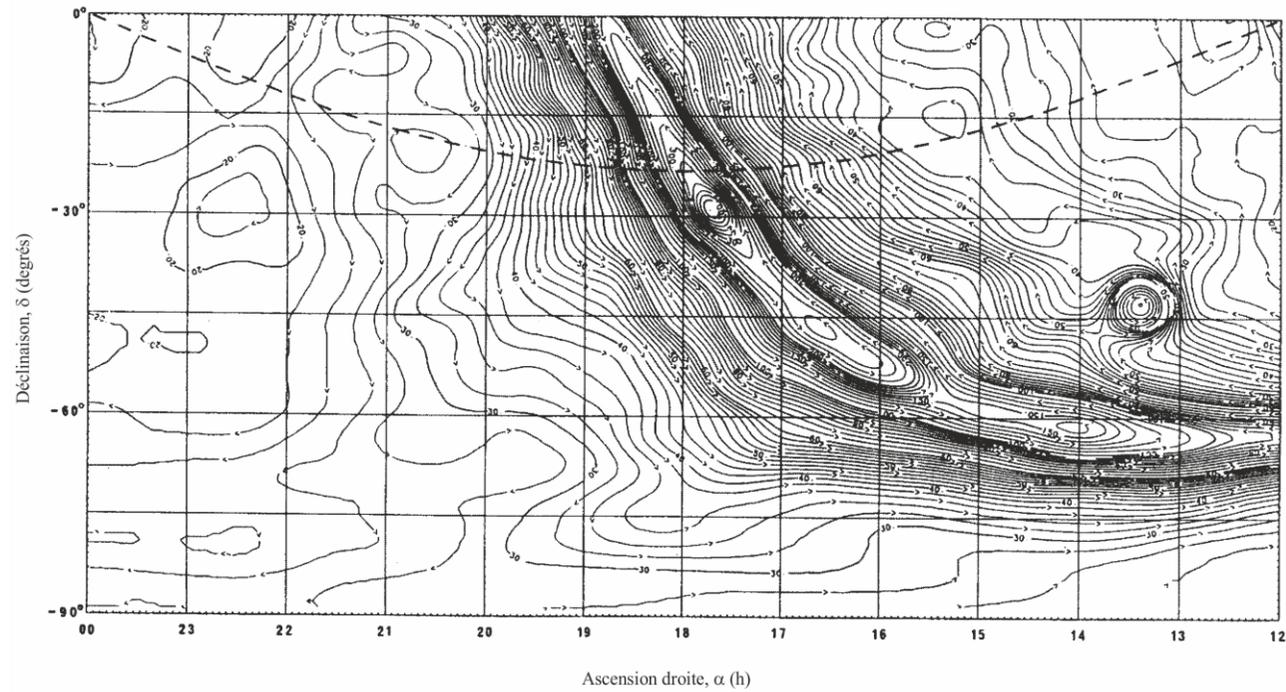


FIGURE 11d

## Température du ciel radioélectrique à 408 MHz

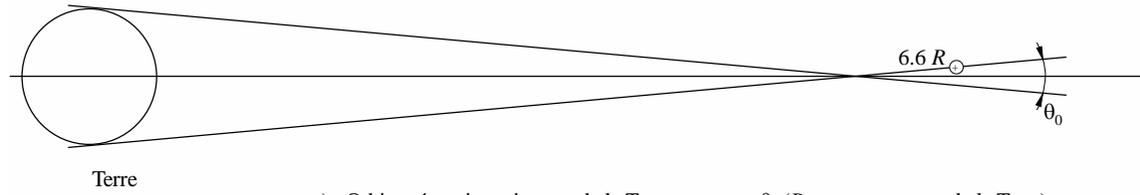


Ascension droite 1200 h à 2400 h, déclinaison 0° à -90°, courbe en tiret; écliptique

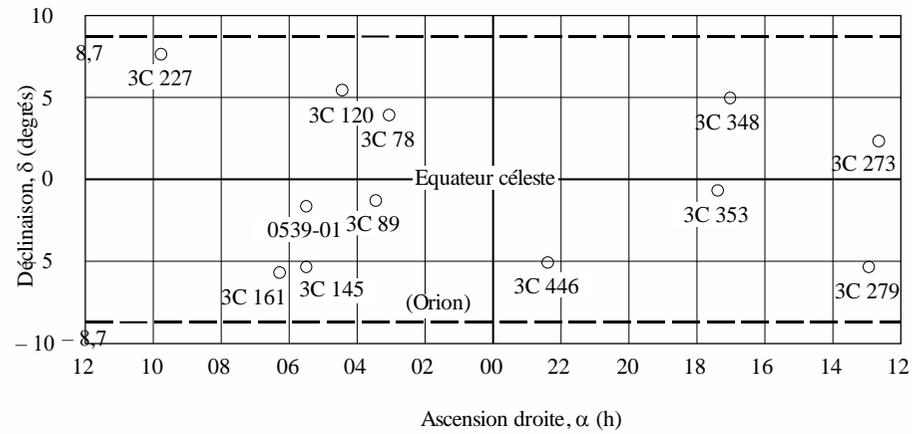
P.0372-11d

FIGURE 12

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



a) Orbite géostationnaire vue de la Terre montrant  $\theta_0$  ( $R_{\odot}$ : rayon moyen de la Terre)



b) Emplacements des sources radioélectriques les plus puissantes (O) pour une bande de  $\pm 8,7^\circ$  de part d'autre de l'équateur céleste. Les numéros se rapportent aux désignations des catalogues, par exemple. 3C indique "third Cambridge"

## PARTIE 5

**Bruit atmosphérique dû aux éclairs****5.1 Bruit atmosphérique dû aux éclairs**

Les Figures 13a à 36a présentent des cartes mondiales du bruit de fond atmosphérique radioélectrique indiquant les valeurs médianes attendues de la puissance moyenne du bruit  $F_{am}$  (dB) au-dessus de  $k T_0 b$ , à la fréquence de 1 MHz, pour chaque tranche de 3 mois, pour chaque tranche de 4 h, en heure locale. Les tranches de 3 mois sont les suivantes: 1) Décembre, Janvier, Février; 2) Mars, Avril, Mai; 3) Juin, Juillet, Août; 4) Septembre, Octobre, Novembre. Les tranches de 4 h sont exprimées en heure locale et correspondent aux mêmes heures locales dans différentes régions de  $15^\circ$  de longitude. La variation de  $F_{am}$  en fonction de la fréquence pour chaque tranche horaire saisonnière est indiquée aux Figs 13b à 36b et la variation en fonction de la fréquence des autres paramètres de bruit est donnée dans les Figs 13c à 36c. Pour ces évaluations du bruit atmosphérique, on a utilisé une antenne de référence unipolaire verticale courte placée au-dessus d'un sol parfaitement conducteur (l'influence d'un sol plan parfaitement conducteur est examinée à l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R P.341). Les évaluations sont celles du bruit atmosphérique cumulé pour toutes les directions et il n'est pas approprié de tenir compte de la directivité des antennes réelles. 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 Figure 37, 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  $\sigma V_d$ . Les courbes DPA peuvent être utilisées pour des largeurs de bande très diverses. Les estimations de  $V_d$  sont données (Figs 13c à 36c) 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. 39. La Figure 39 n'est valable que pour les ondes hectométriques et décimétriques, 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 (Figs 13a à 36a) 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 (Figs 13b à 36b). Les paramètres de variabilité  $\sigma_{F_{am}}$ ,  $D_u$ ,  $\sigma_{D_u}$ , etc., sont obtenus, pour la fréquence voulue, à partir des Figs 13c à 36c. On peut obtenir les valeurs de  $D$  et  $\sigma_D$  pour d'autres pourcentages de temps en prenant pour hypothèse des distributions semi-log normales de part et d'autre des valeurs médianes.

FIGURE 13a  
Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Décembre-Janvier-Février; 0000-0400 heure locale)

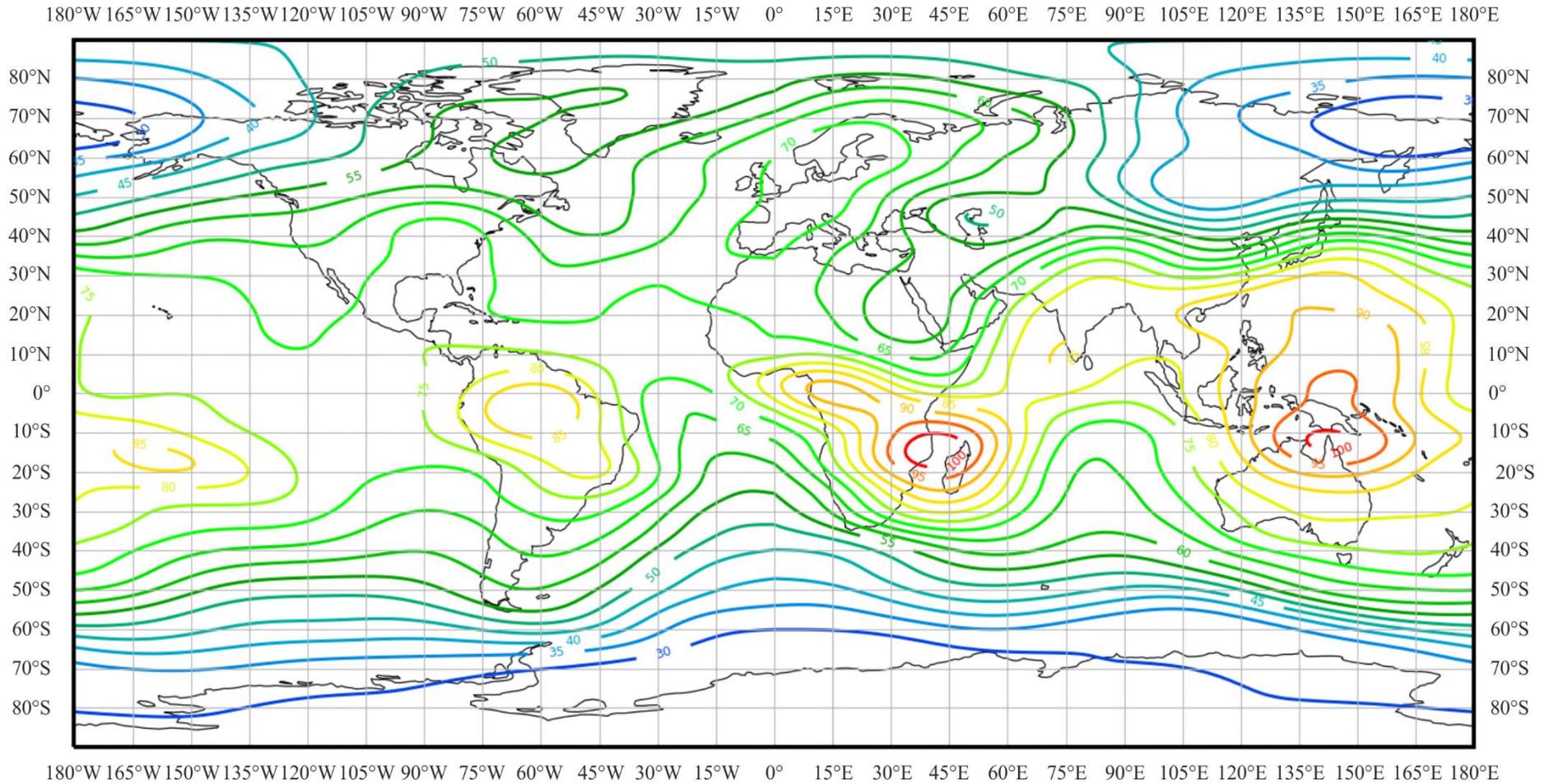


FIGURE 13b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 0000-0400 heure locale)

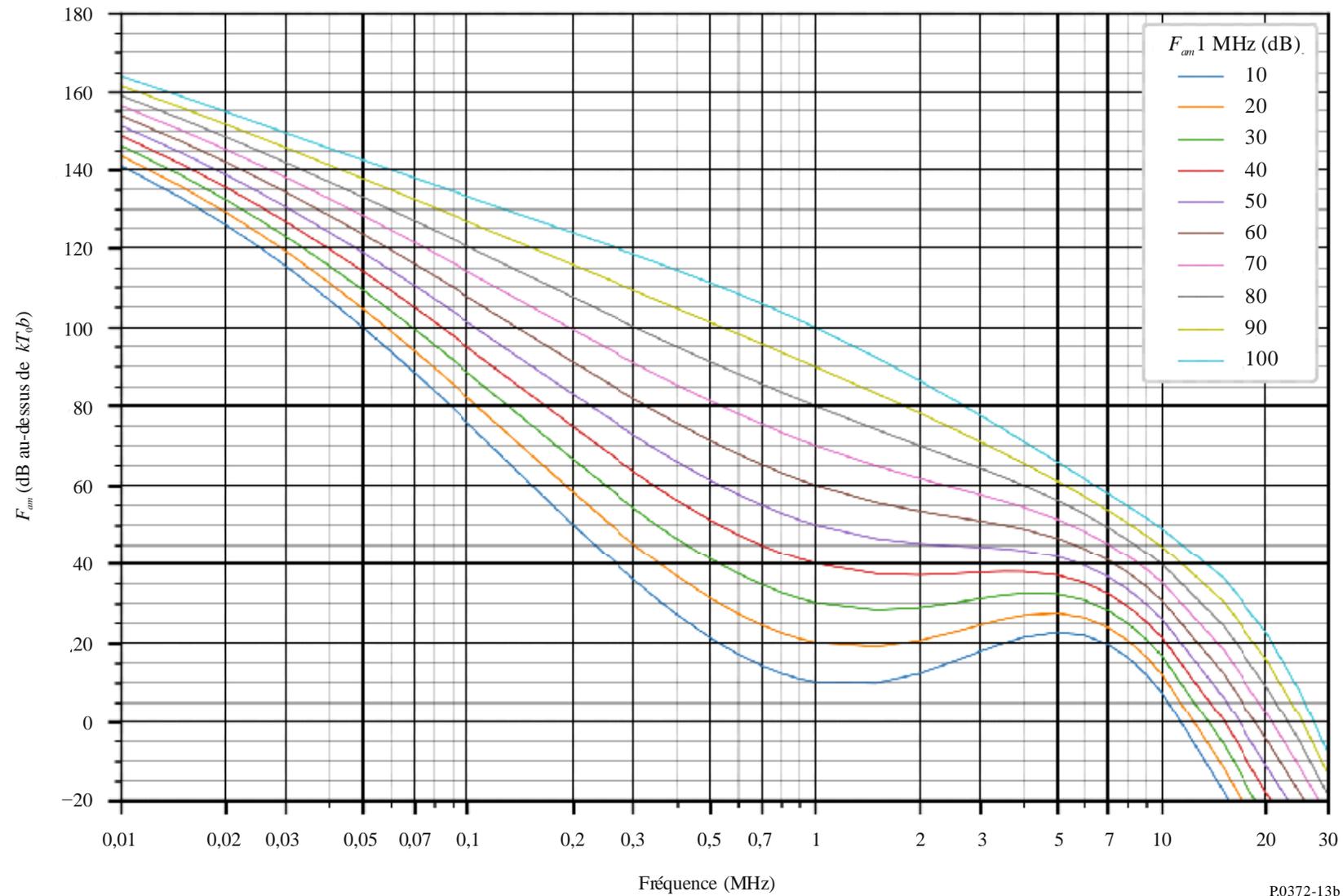


FIGURE 13c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 0000-0400 heure locale)

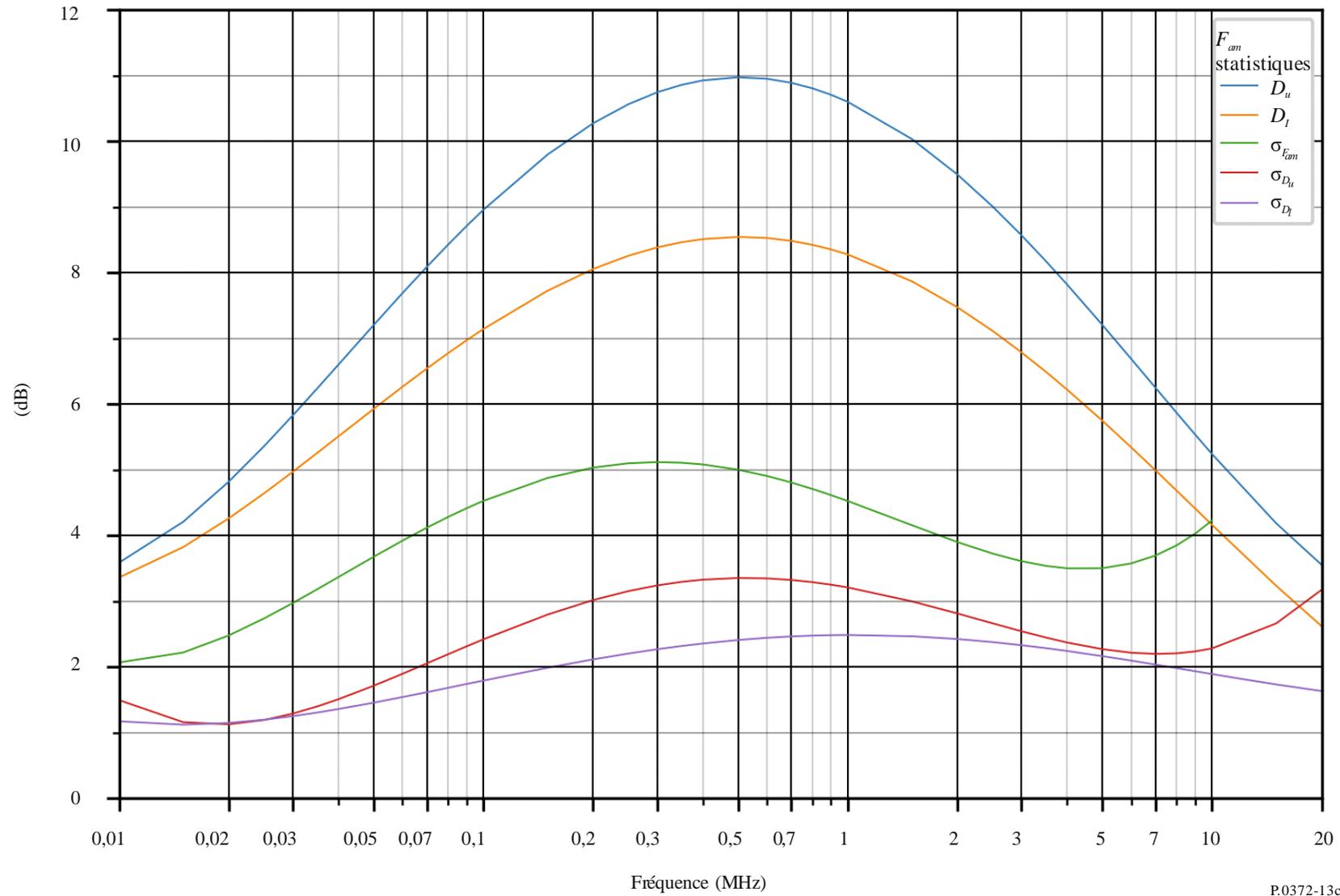


FIGURE 14a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Décembre-Janvier-Février; 0400-0800 heure locale)

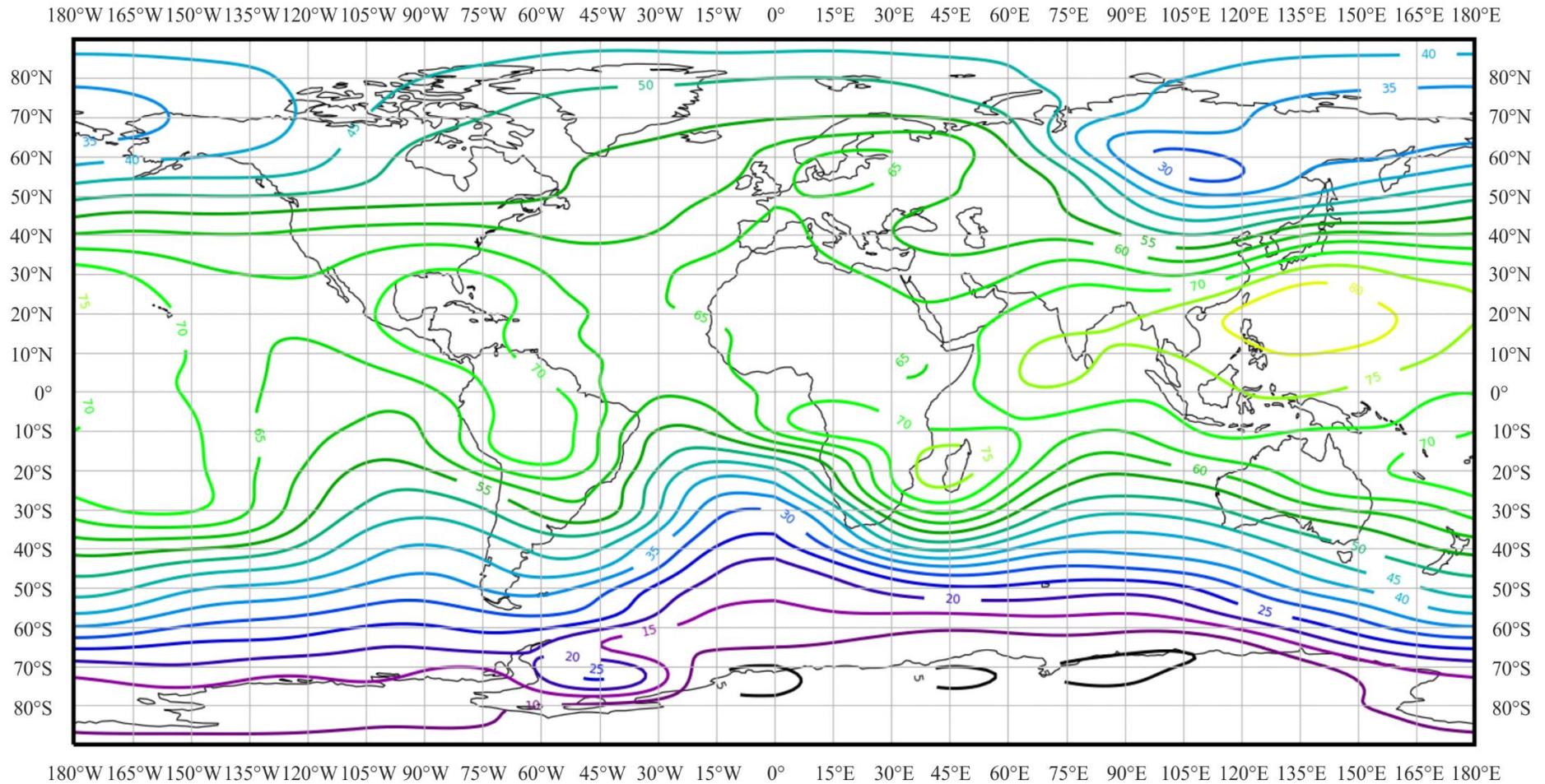


FIGURE 14b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 0400-0800 heure locale)

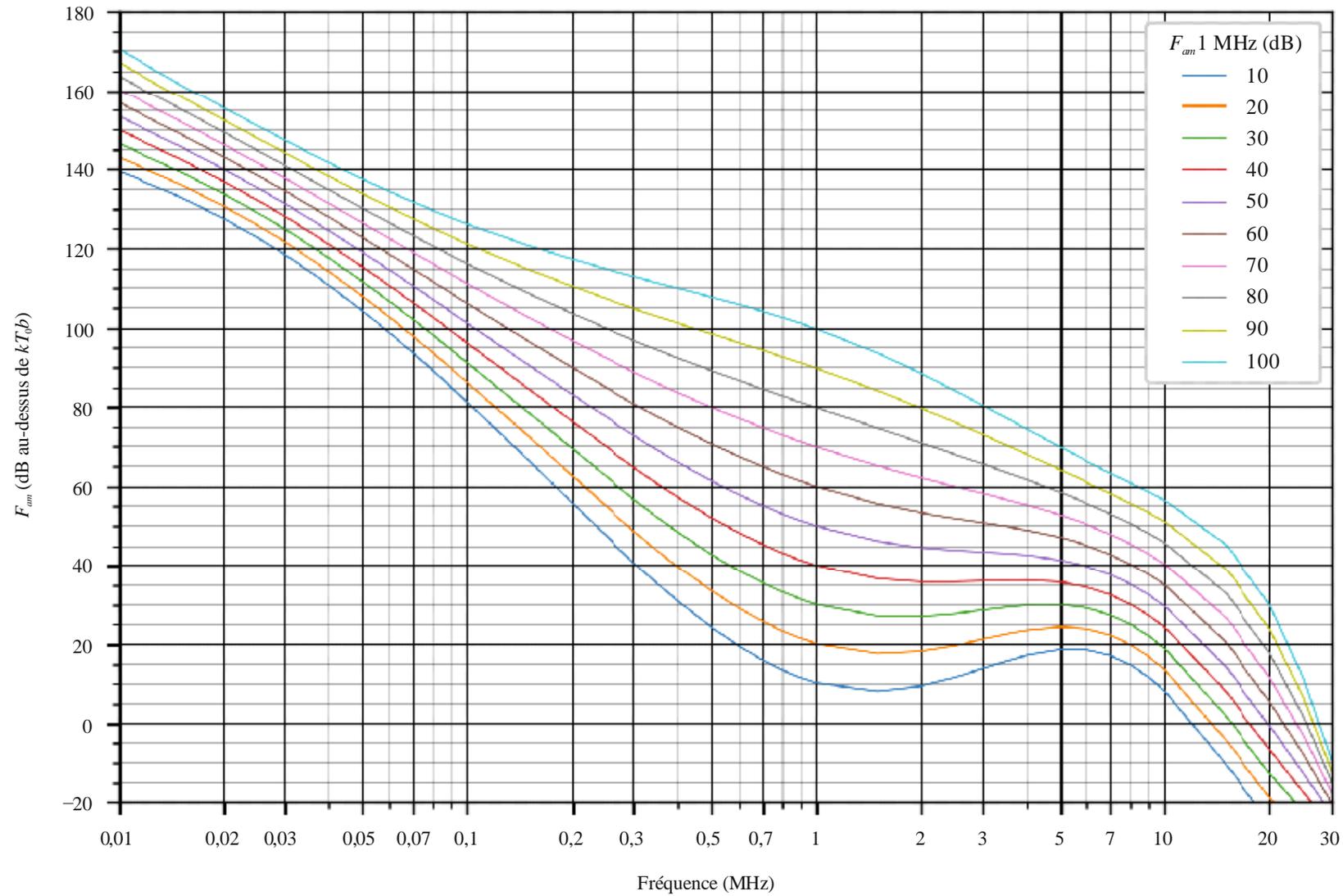


FIGURE 14c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 0000-0400 heure locale)

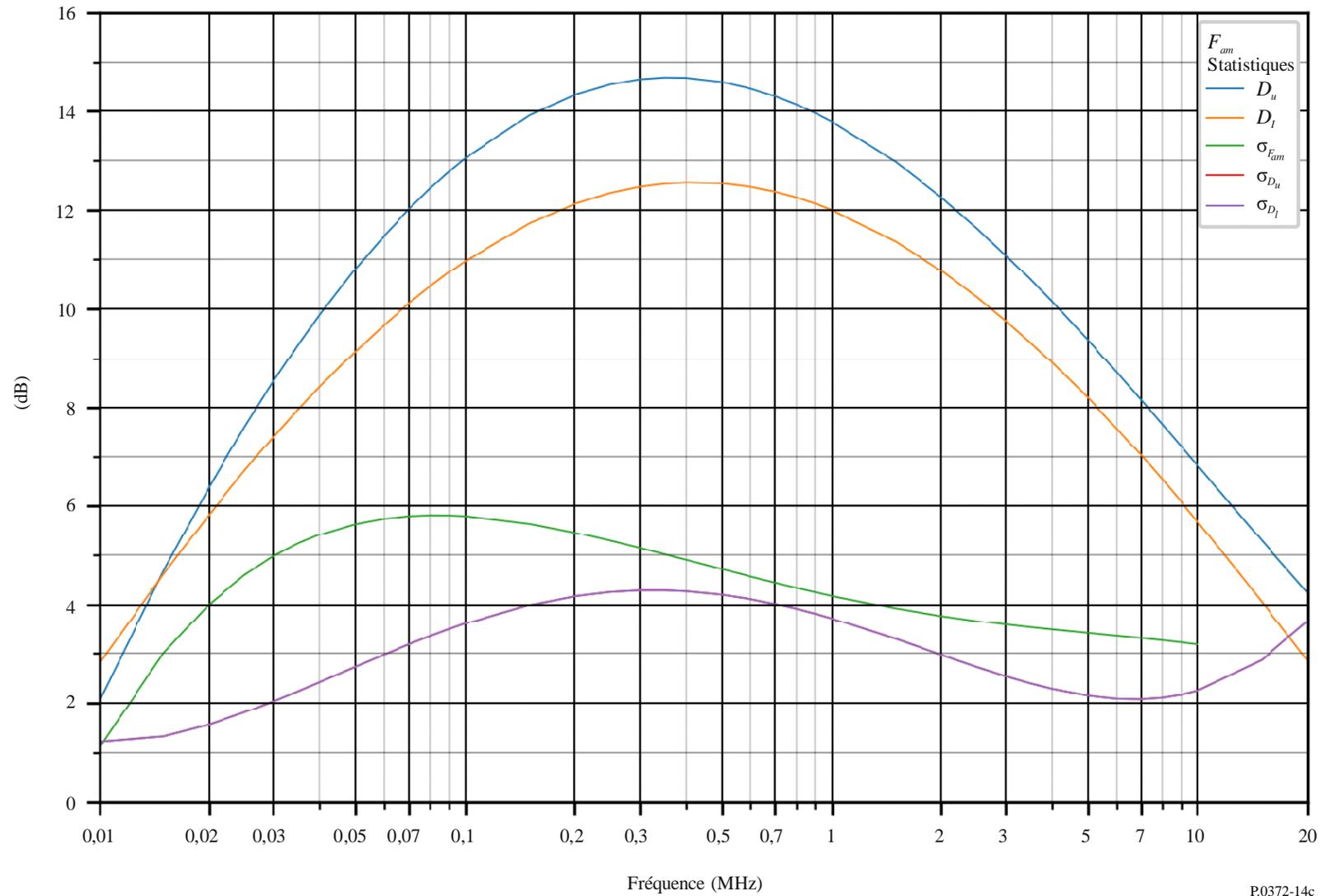


FIGURE 15a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Décembre-Janvier-Février; 0800-1200 heure locale)

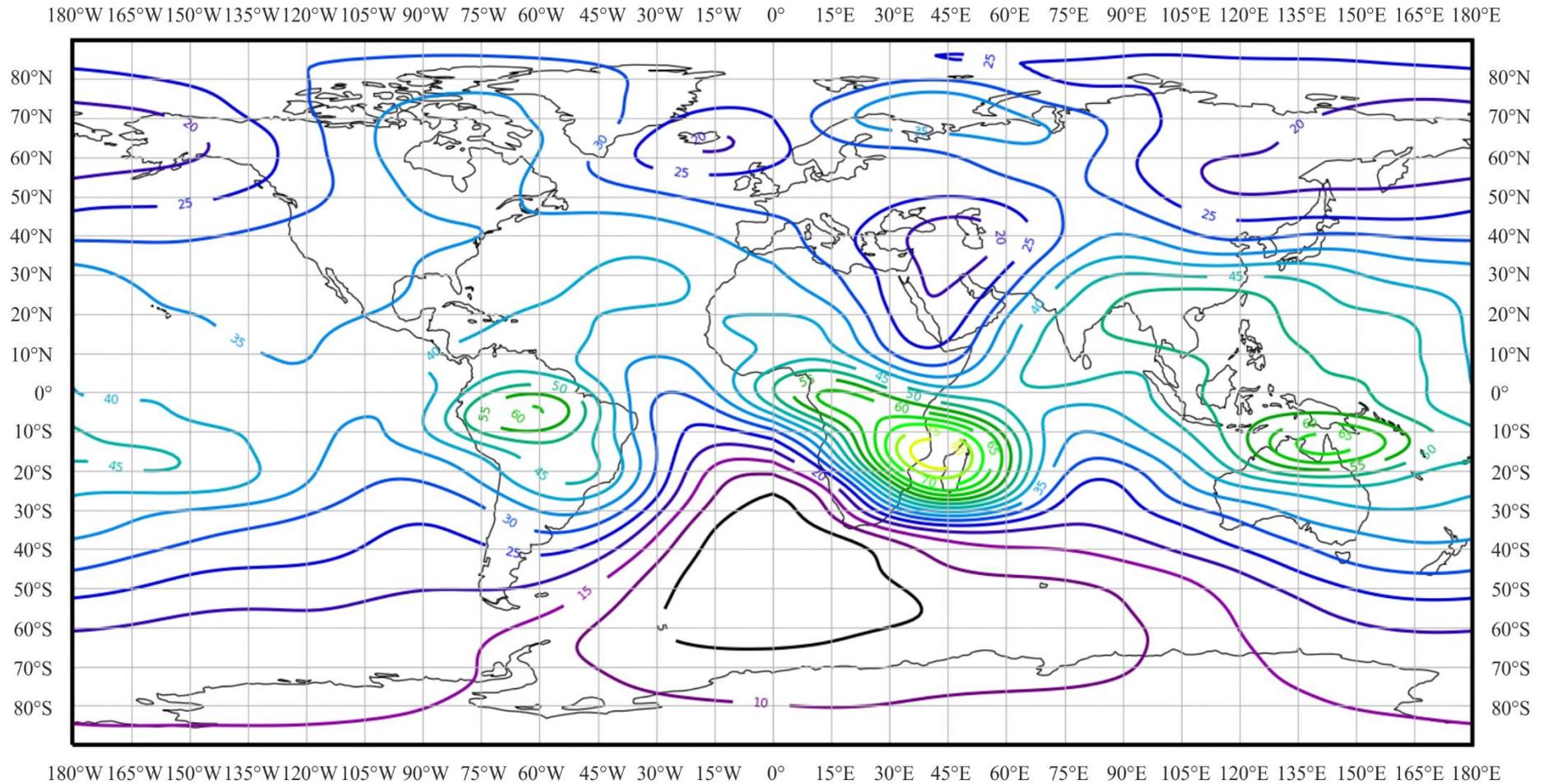


FIGURE 15b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 0800-1200 heure locale)

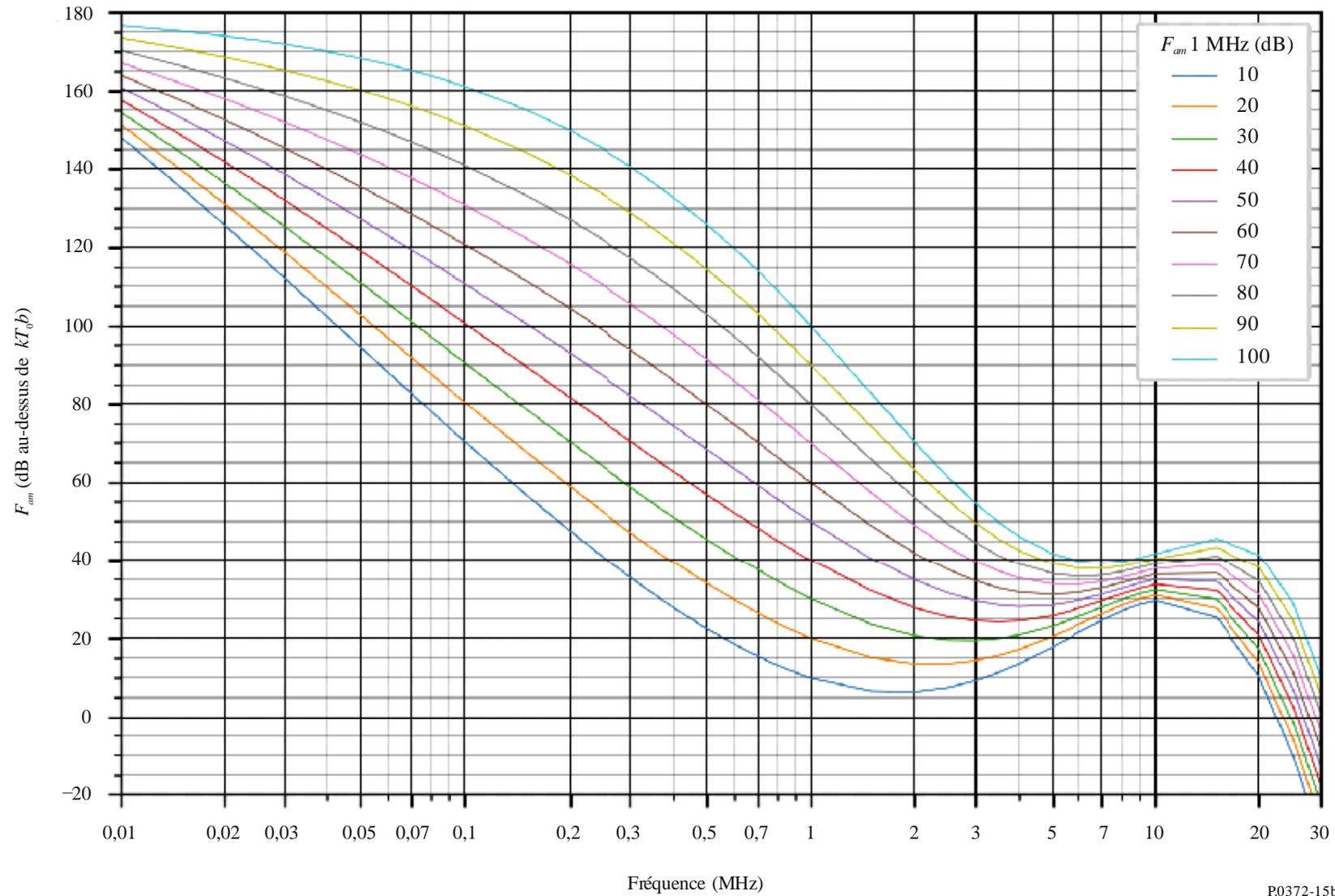


FIGURE 15c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 0800-1200 heure locale)

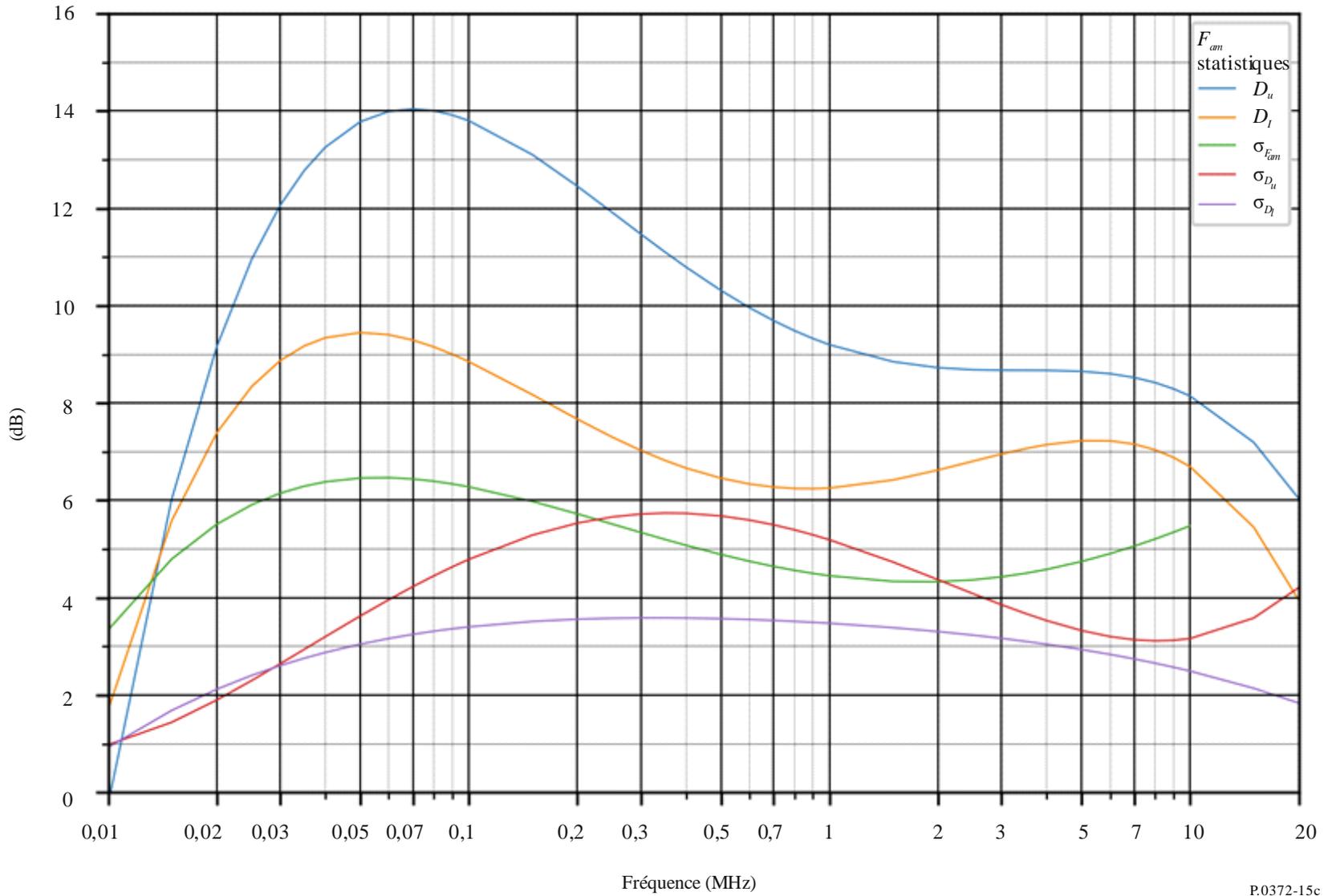


FIGURE 16a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Décembre-Janvier-Février; 1200-1600 heure locale)

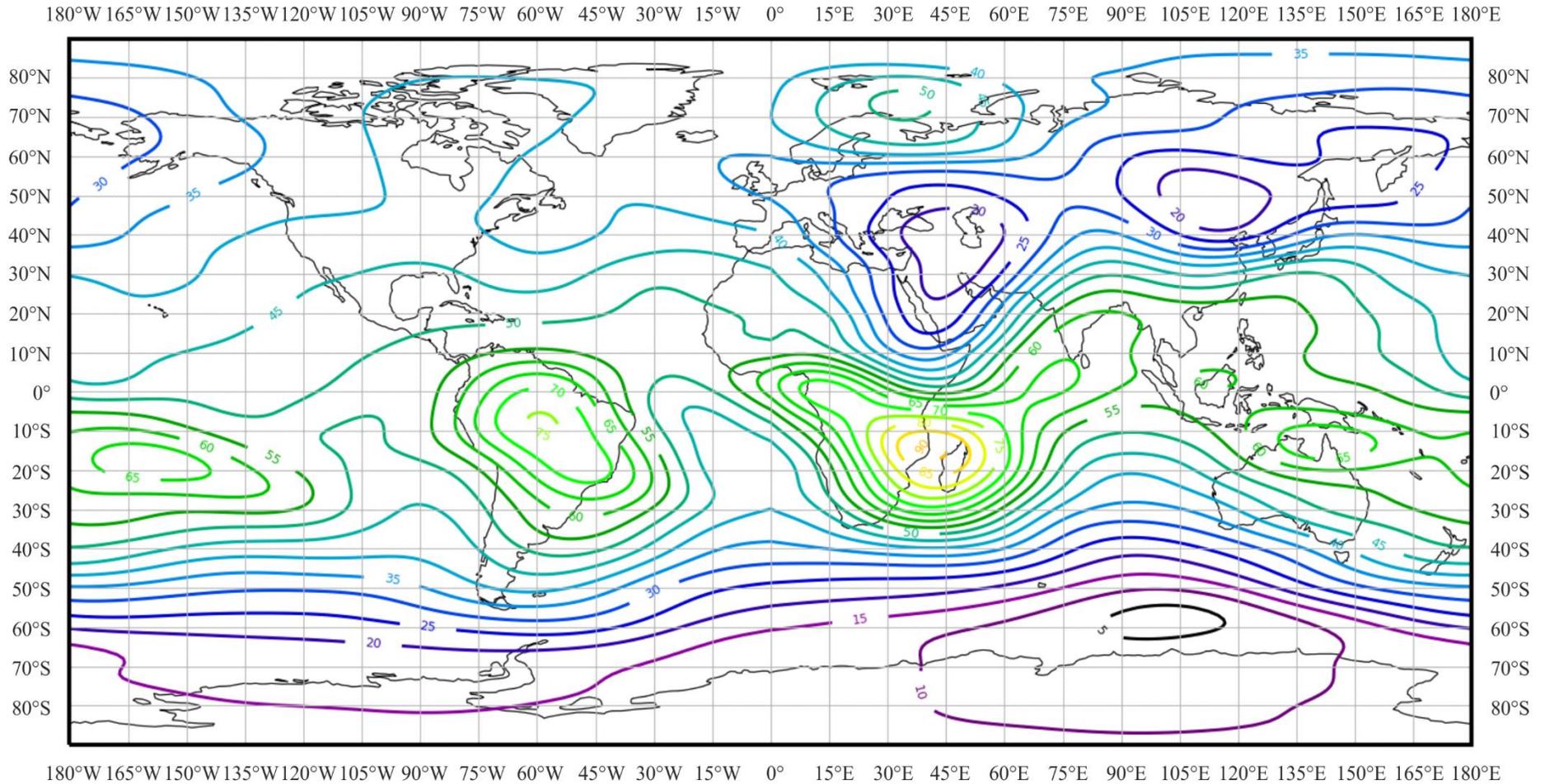


FIGURE 16b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 1200-1600 heure locale)

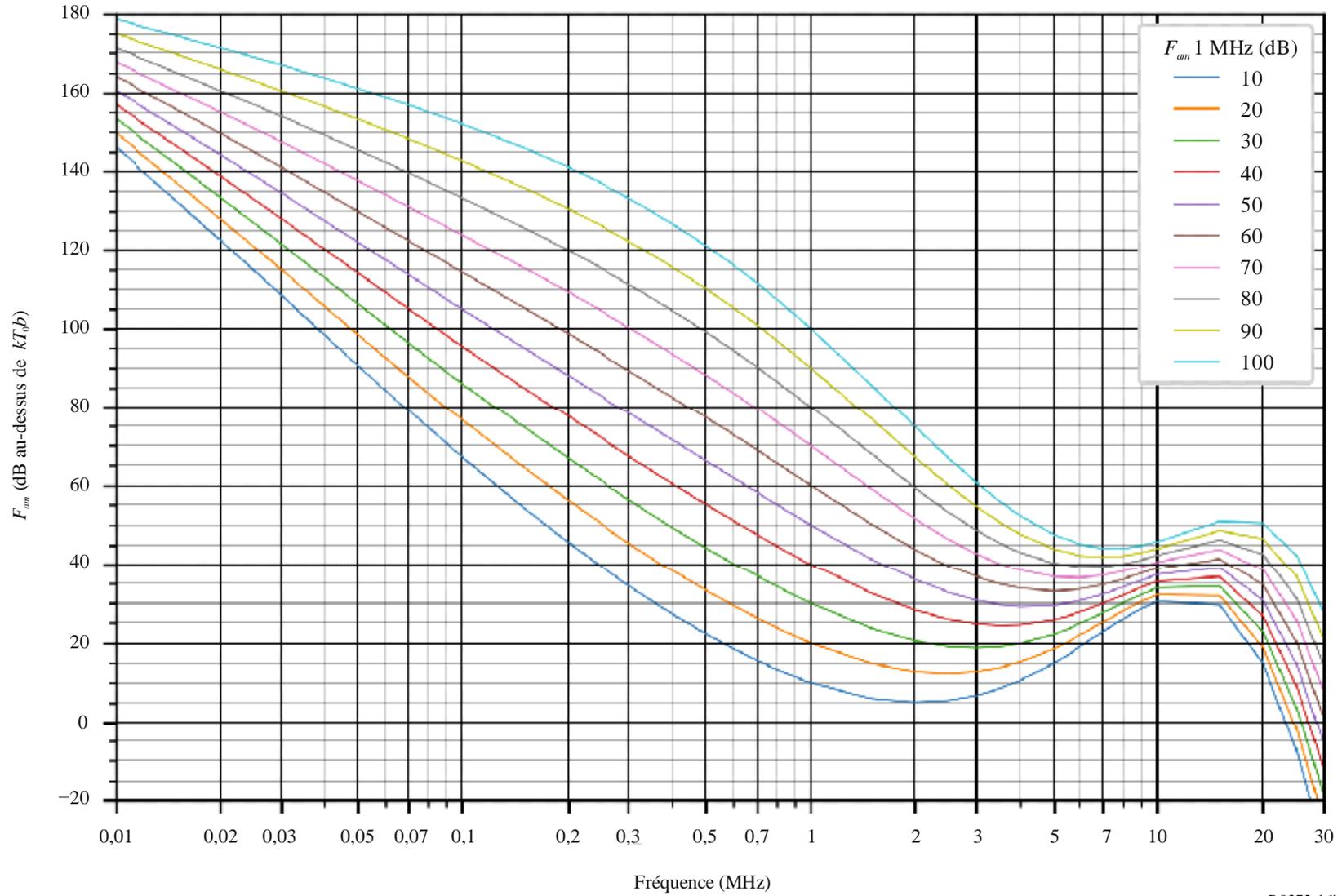


FIGURE 16c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 1200-1600 heure locale)

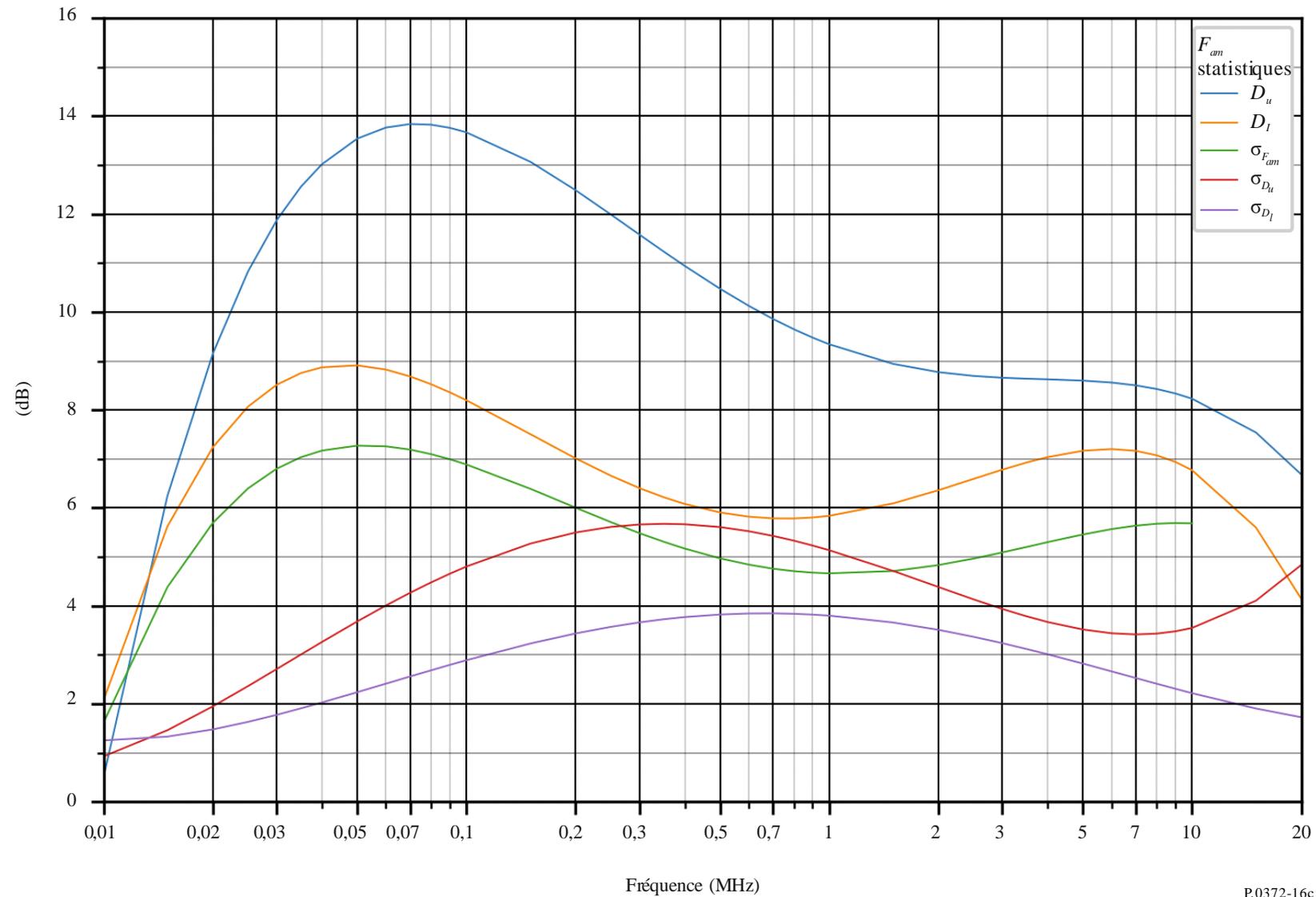


FIGURE 17a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Décembre-Janvier-Février; 1600-2000 heure locale)

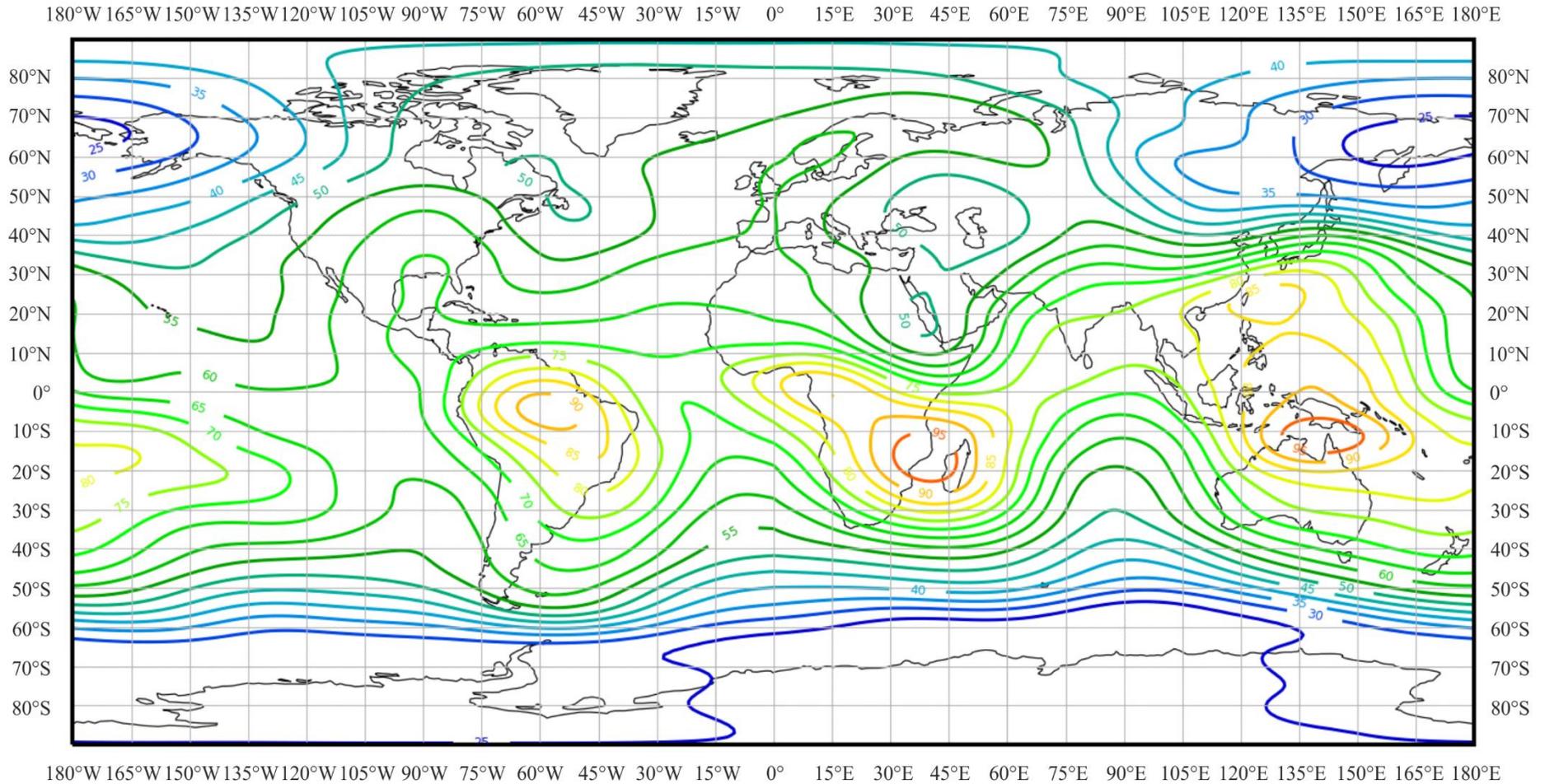


FIGURE 17b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 1600-2000 heure locale)

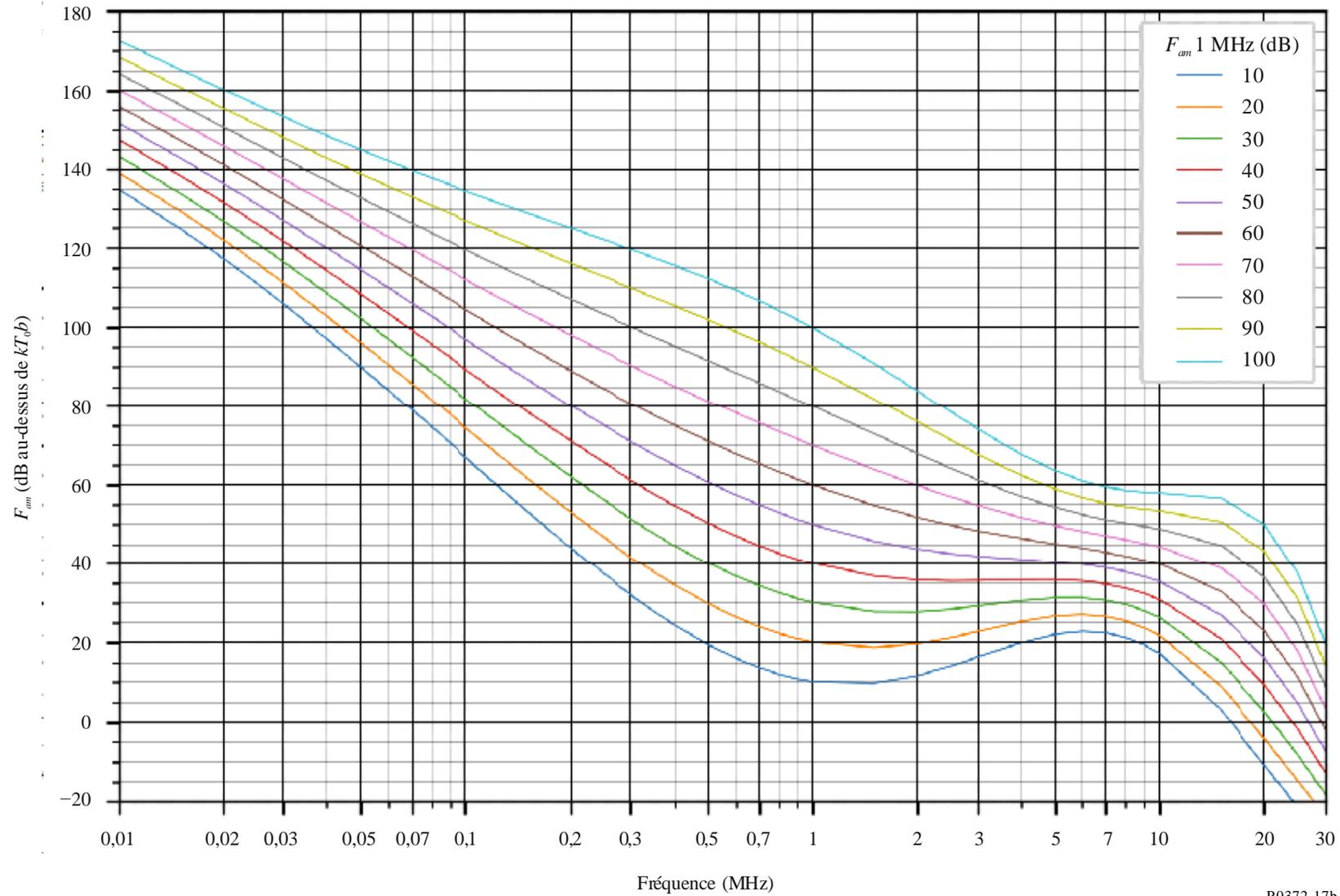


FIGURE 17c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 1600-2000 heure locale)

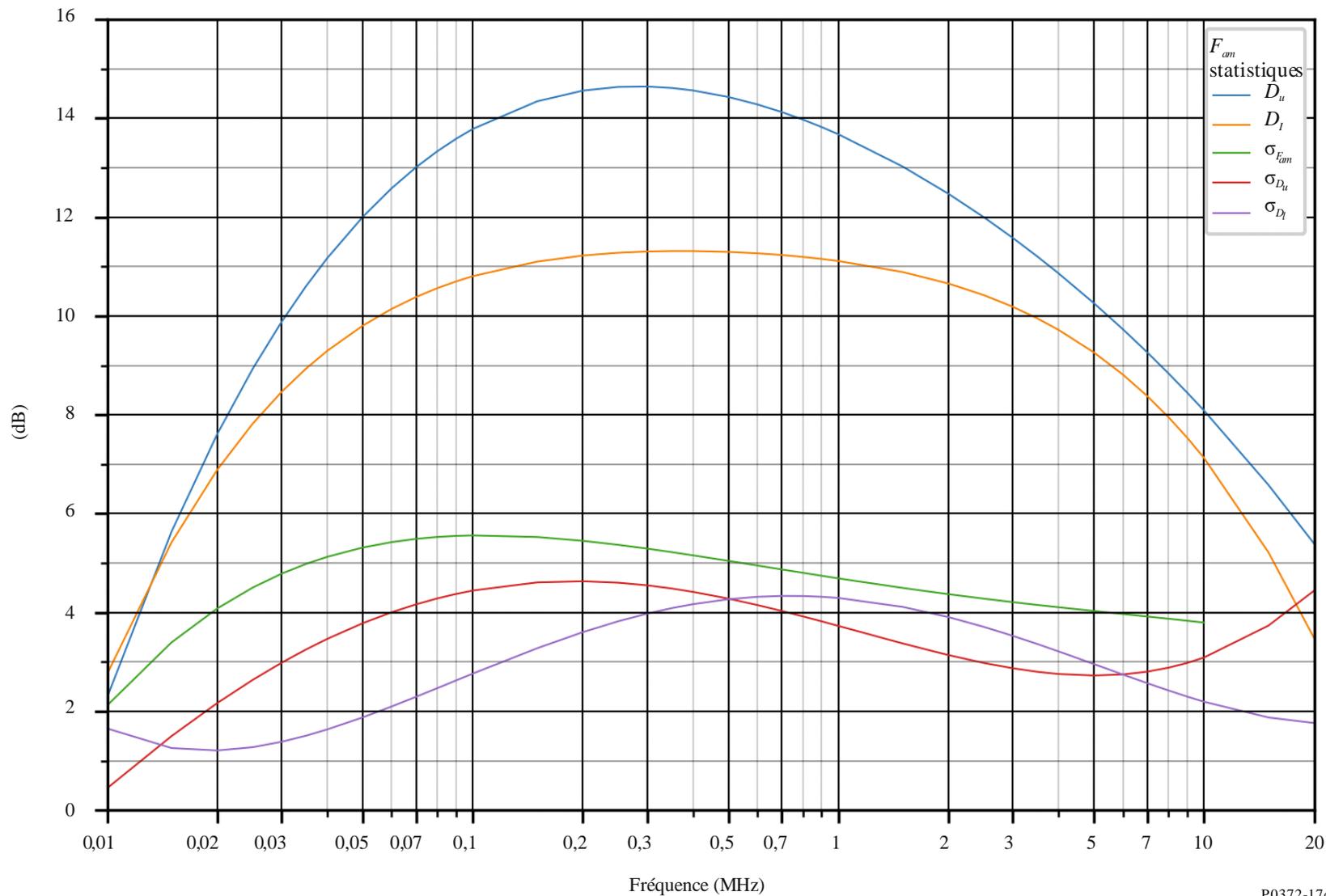


FIGURE 18a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Décembre-Janvier-Février; 2000-2400 heure locale)

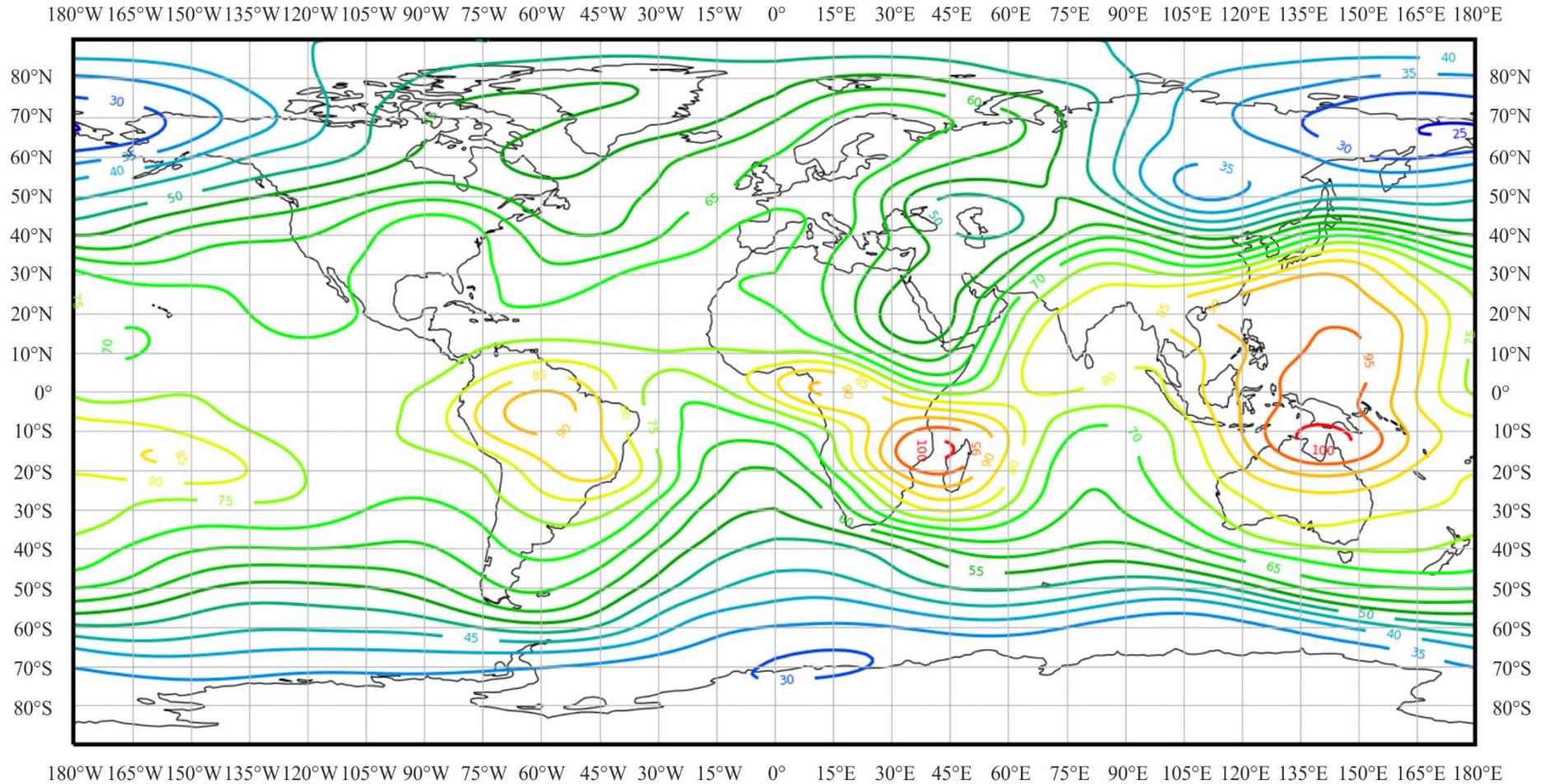


FIGURE 18b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 2000-2400 heure locale)

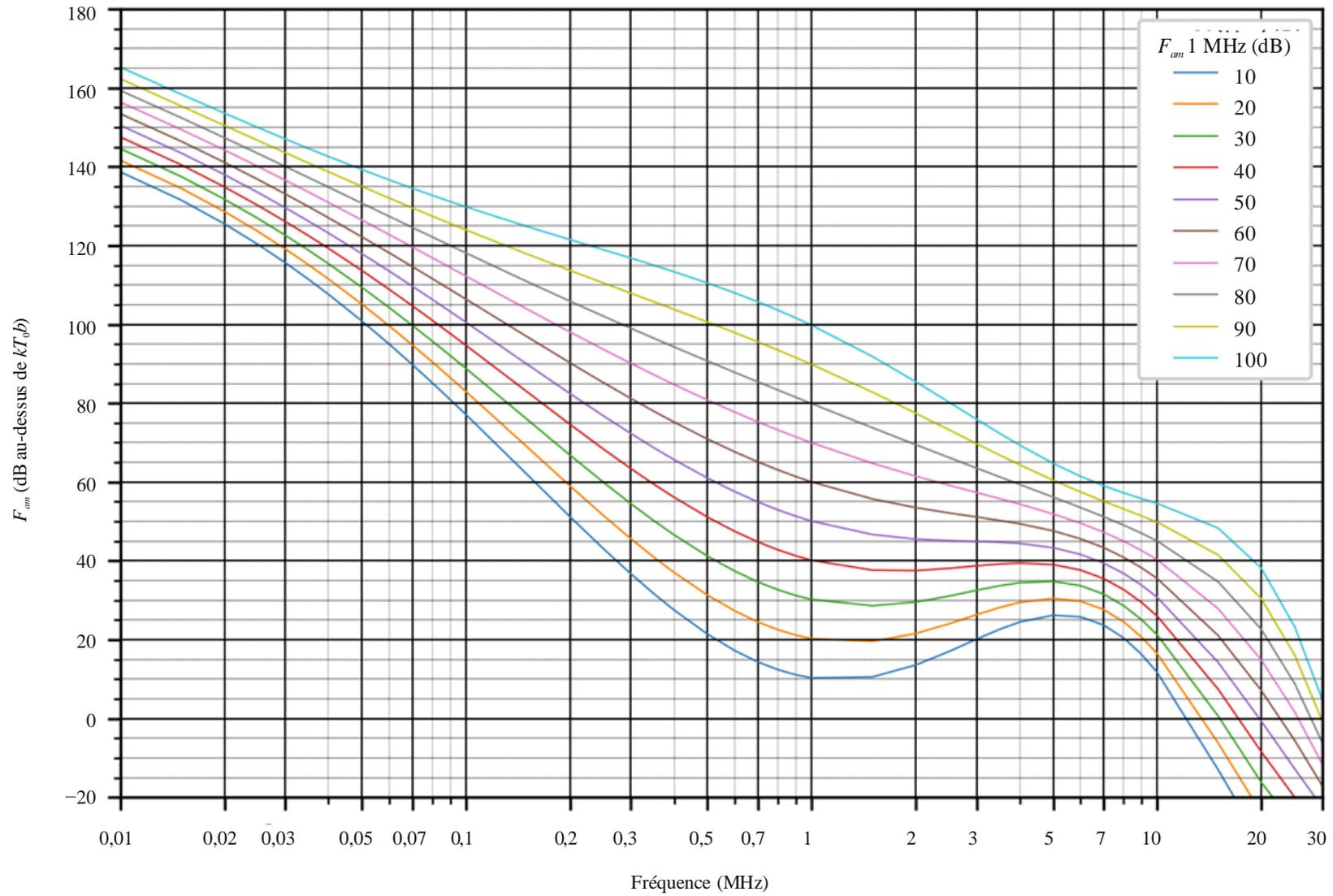


FIGURE 18c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Décembre-Janvier-Février; Hémisphère sud: Juin-Juillet-Août; 2000-2400 heure locale)

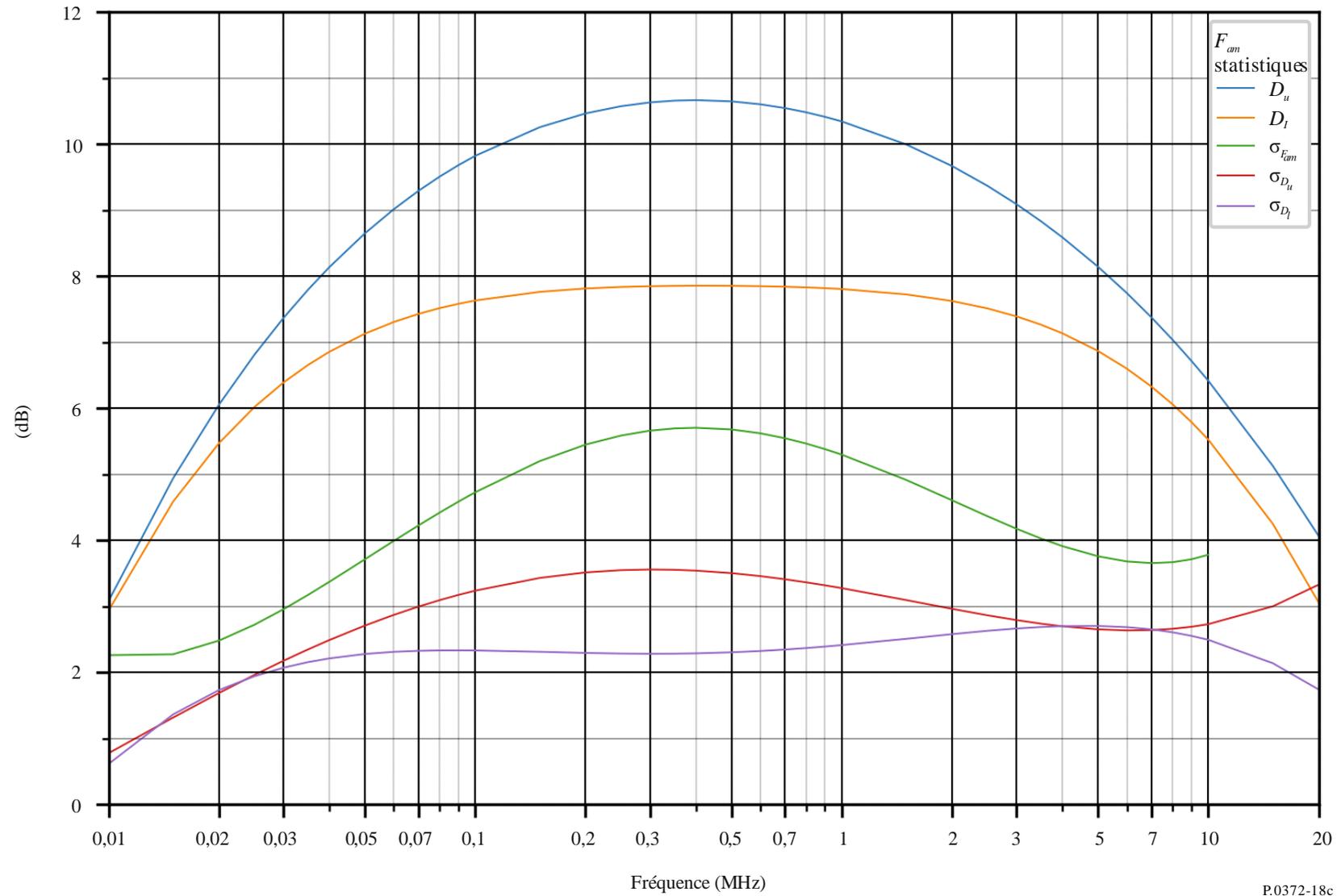


FIGURE 19a  
Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Mars-Avril-Mai; 0000-0400 heure locale)

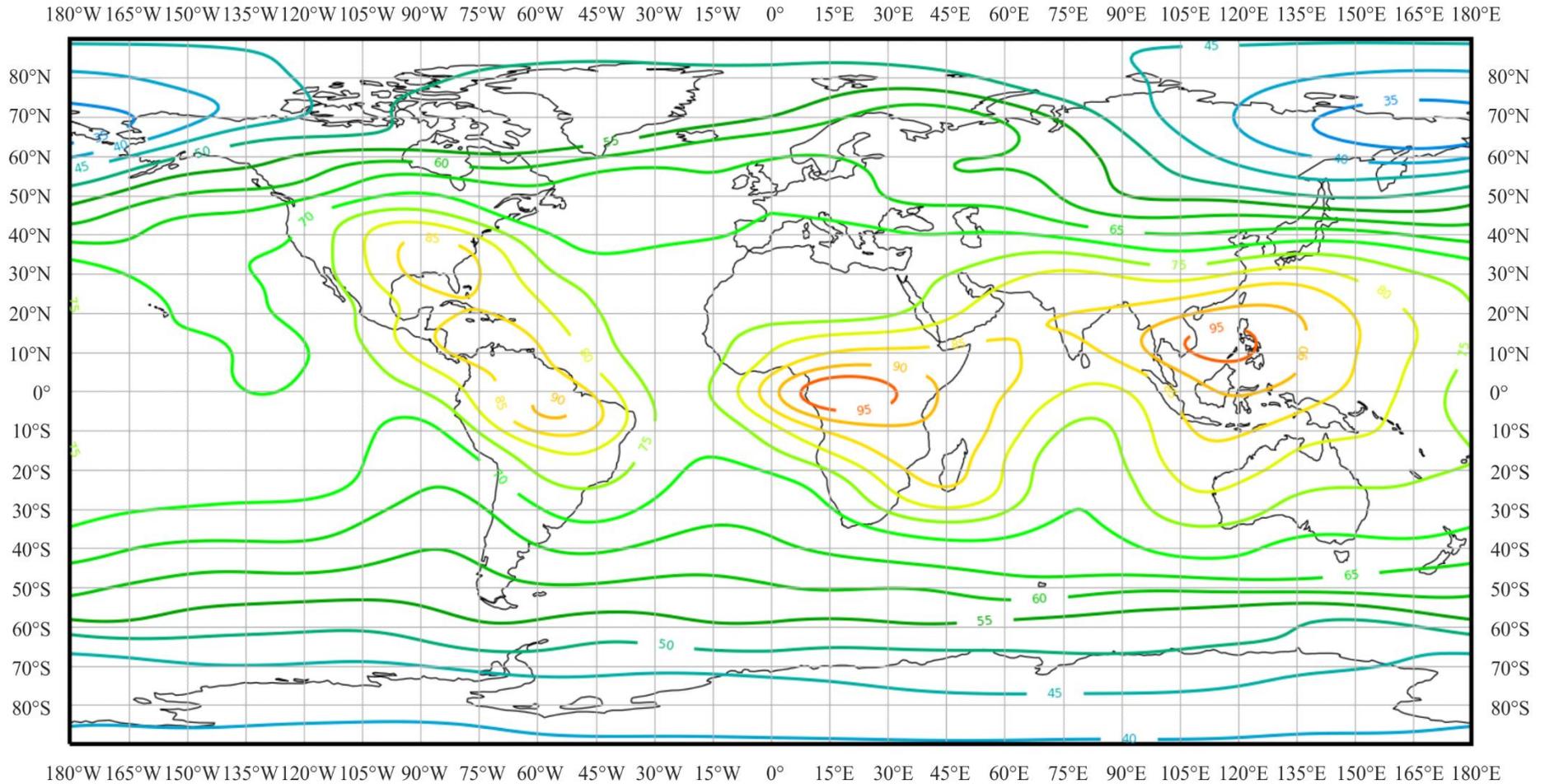


FIGURE 19b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 0000-0400 heure locale)

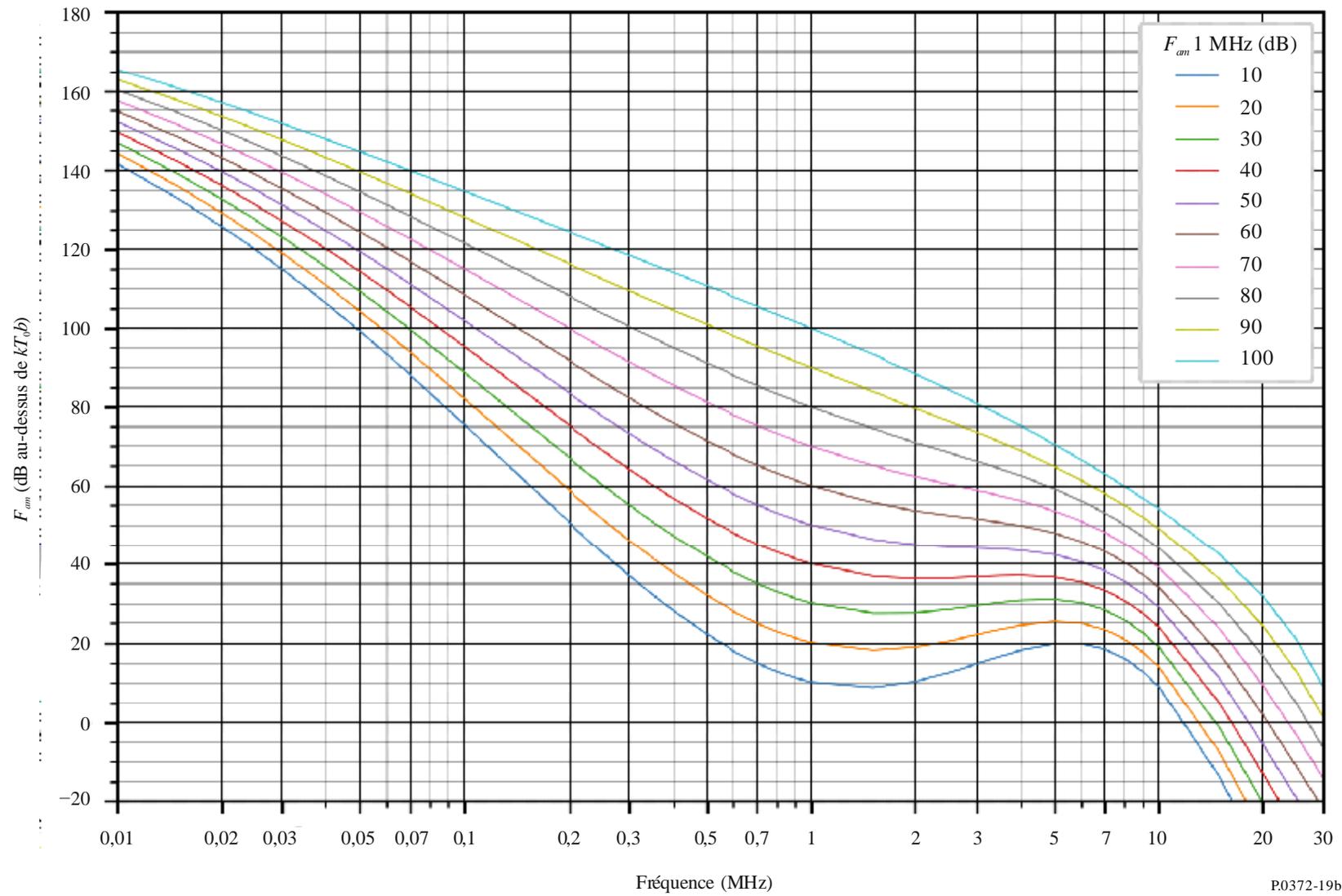


FIGURE 19c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 0000-0400 heure locale)

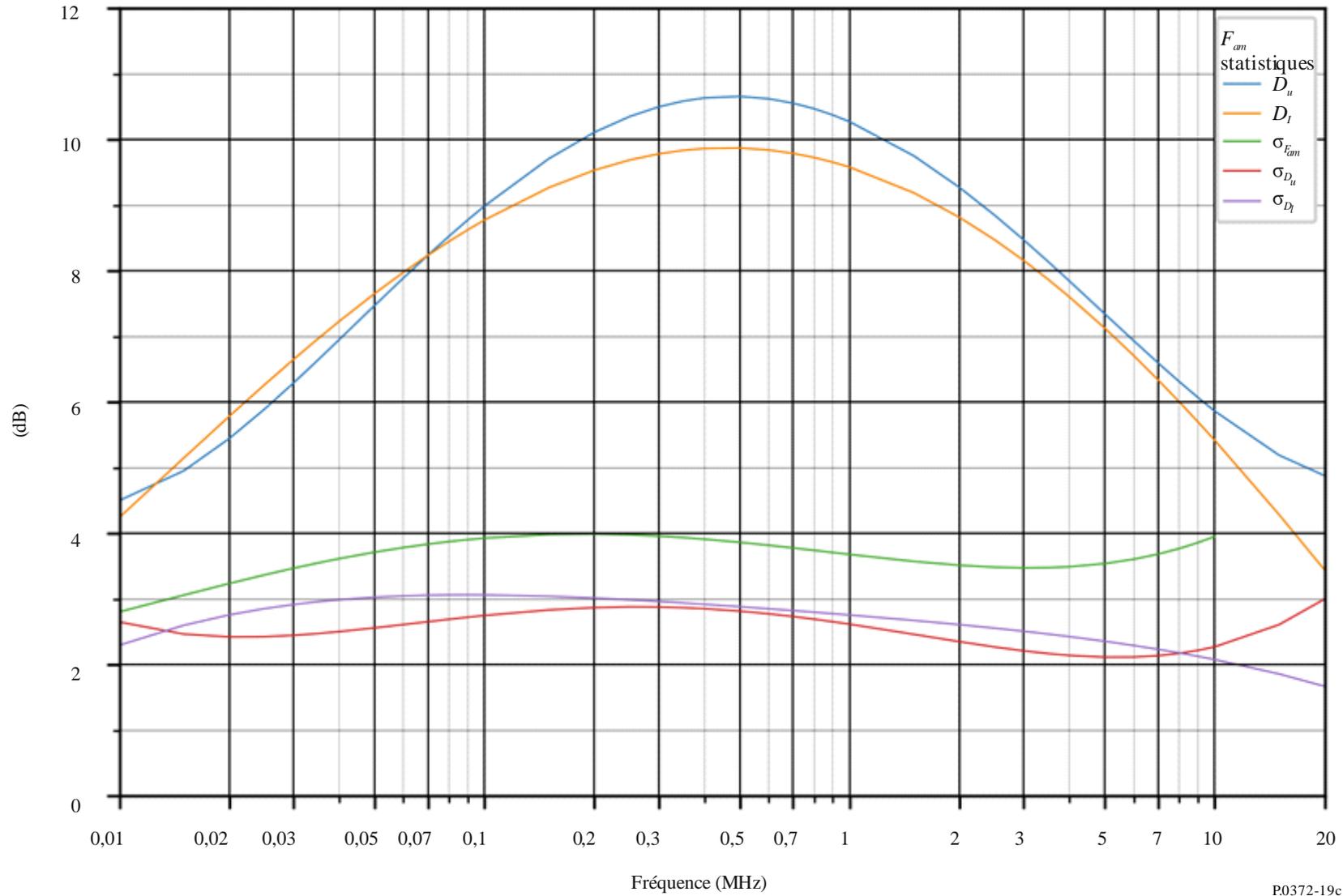


FIGURE 20a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
 (Mars-Avril-Mai; 0400-0800 heure locale)

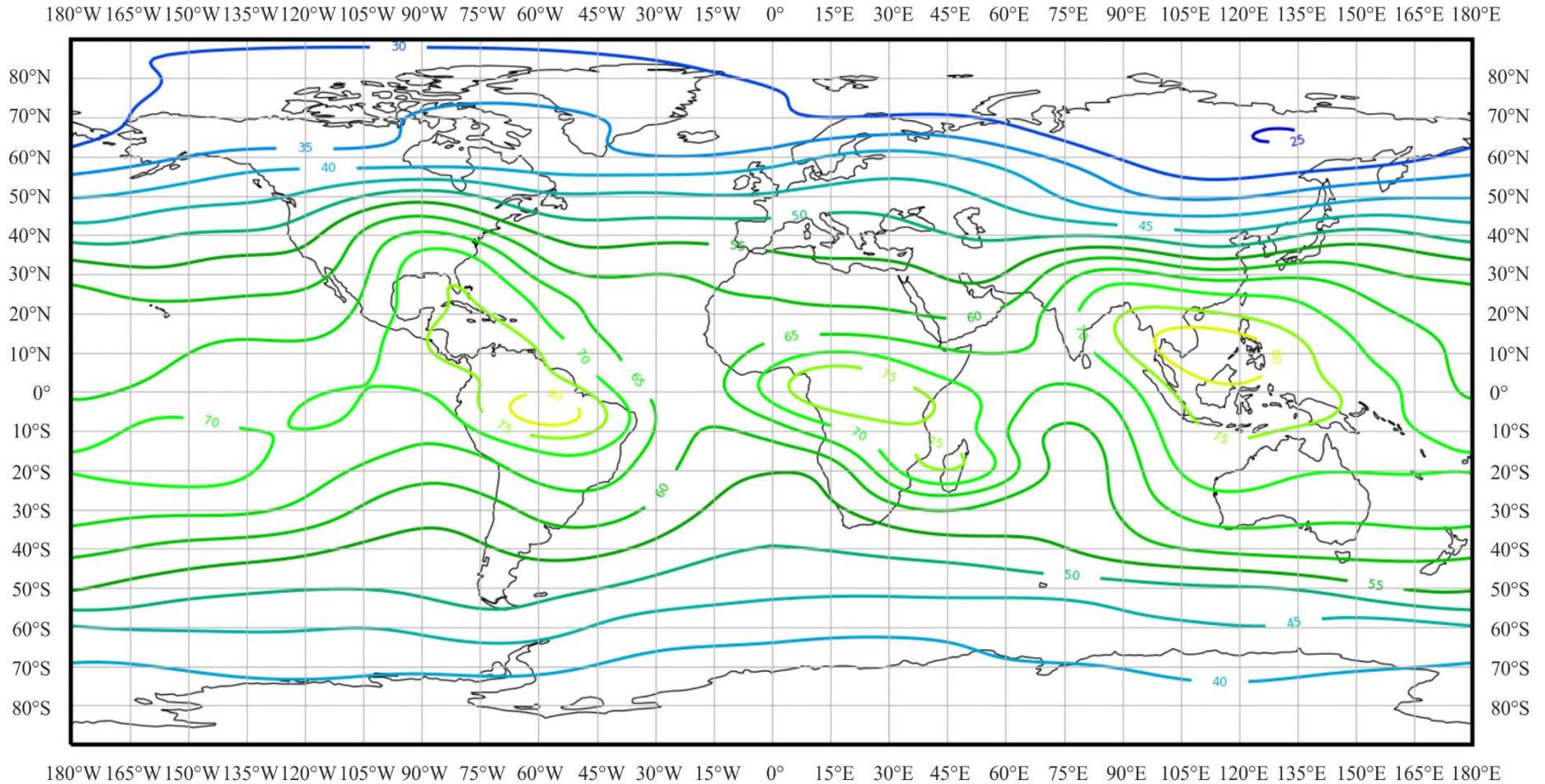


FIGURE 20b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 0400-0800 heure locale)

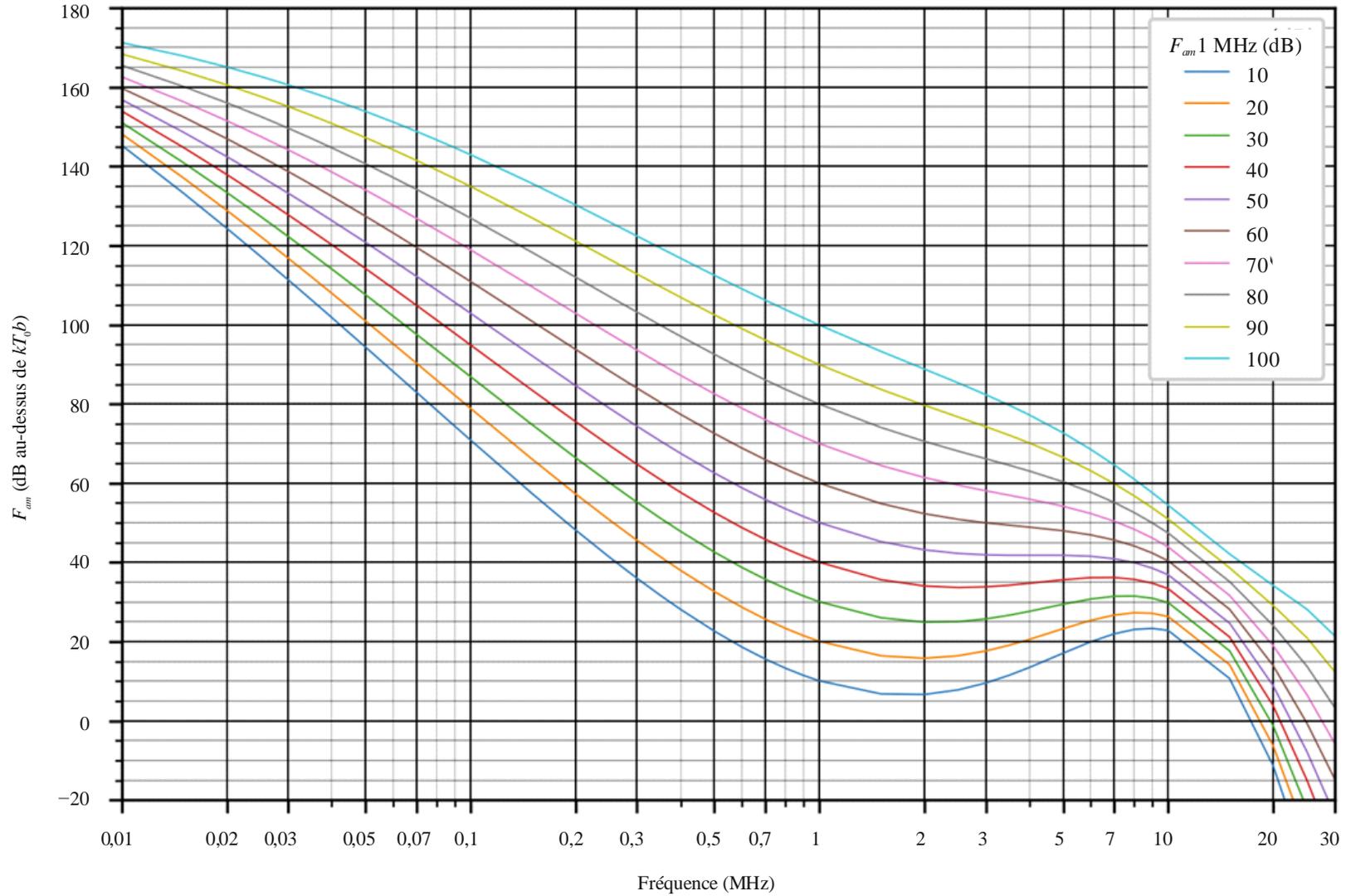


FIGURE 20c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 0400-0800 heure locale)

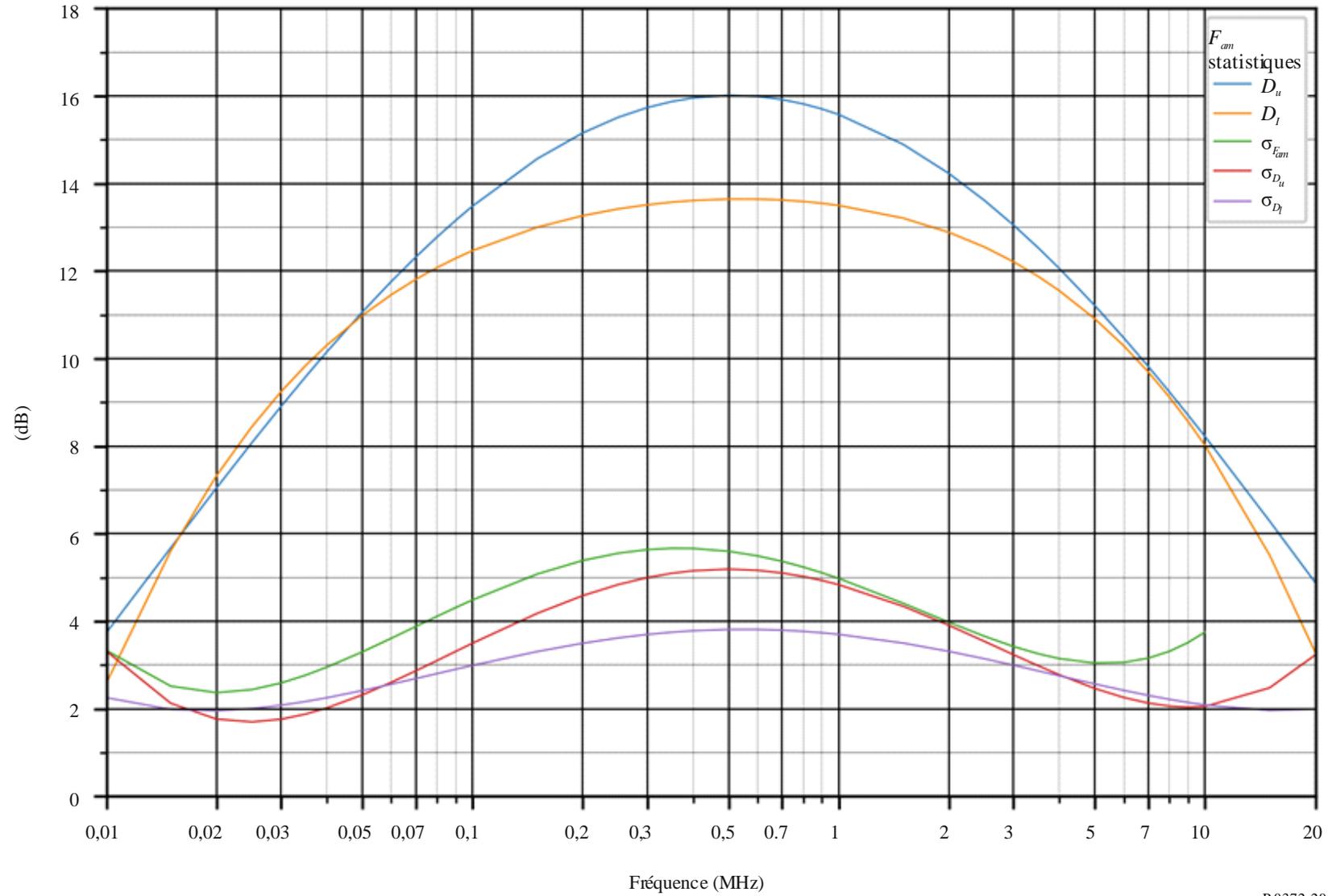


FIGURE 21a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Mars-Avril-Mai; 0800-1200 heure locale)

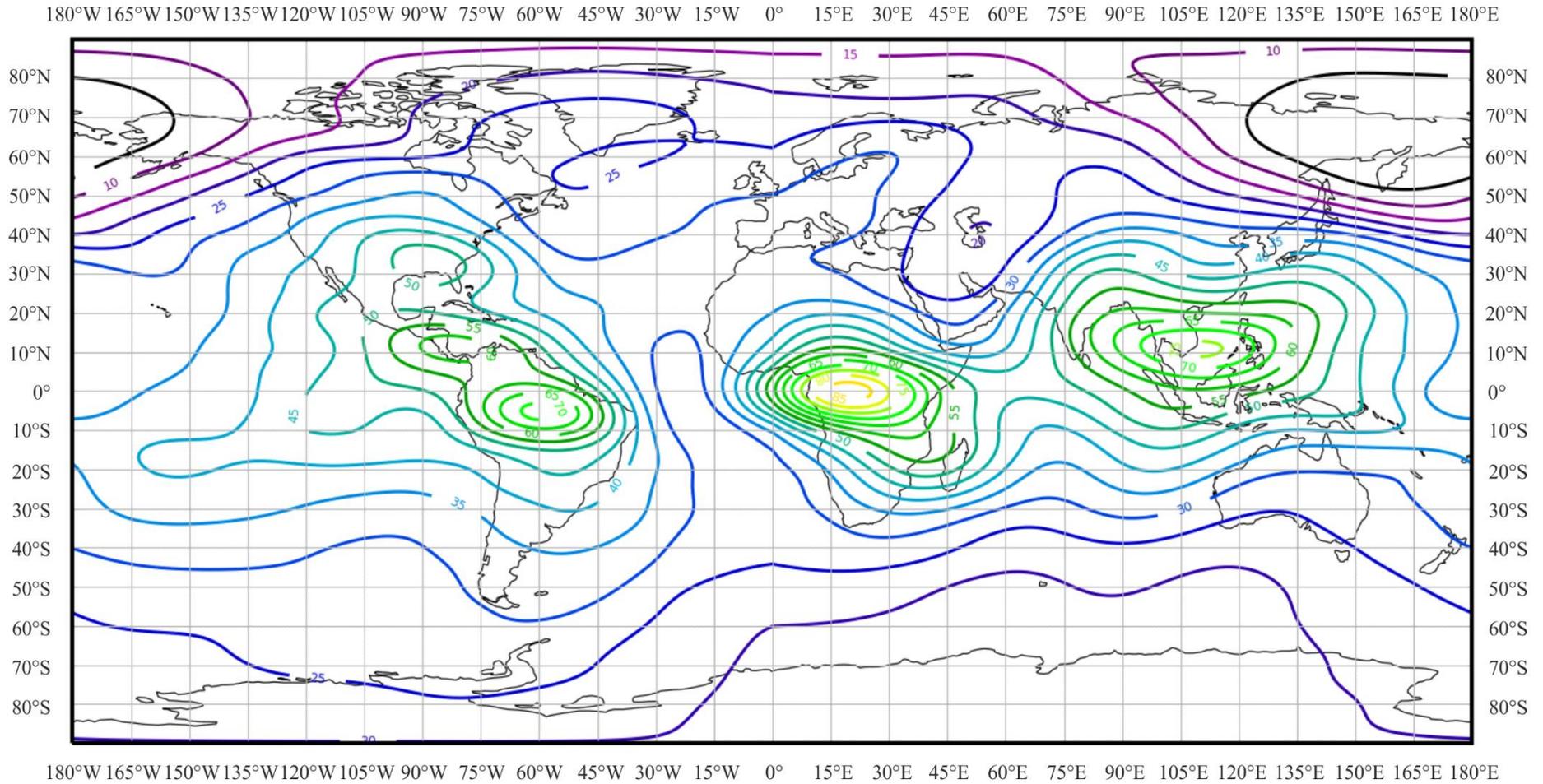


FIGURE 21b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 0800-1200 heure locale)

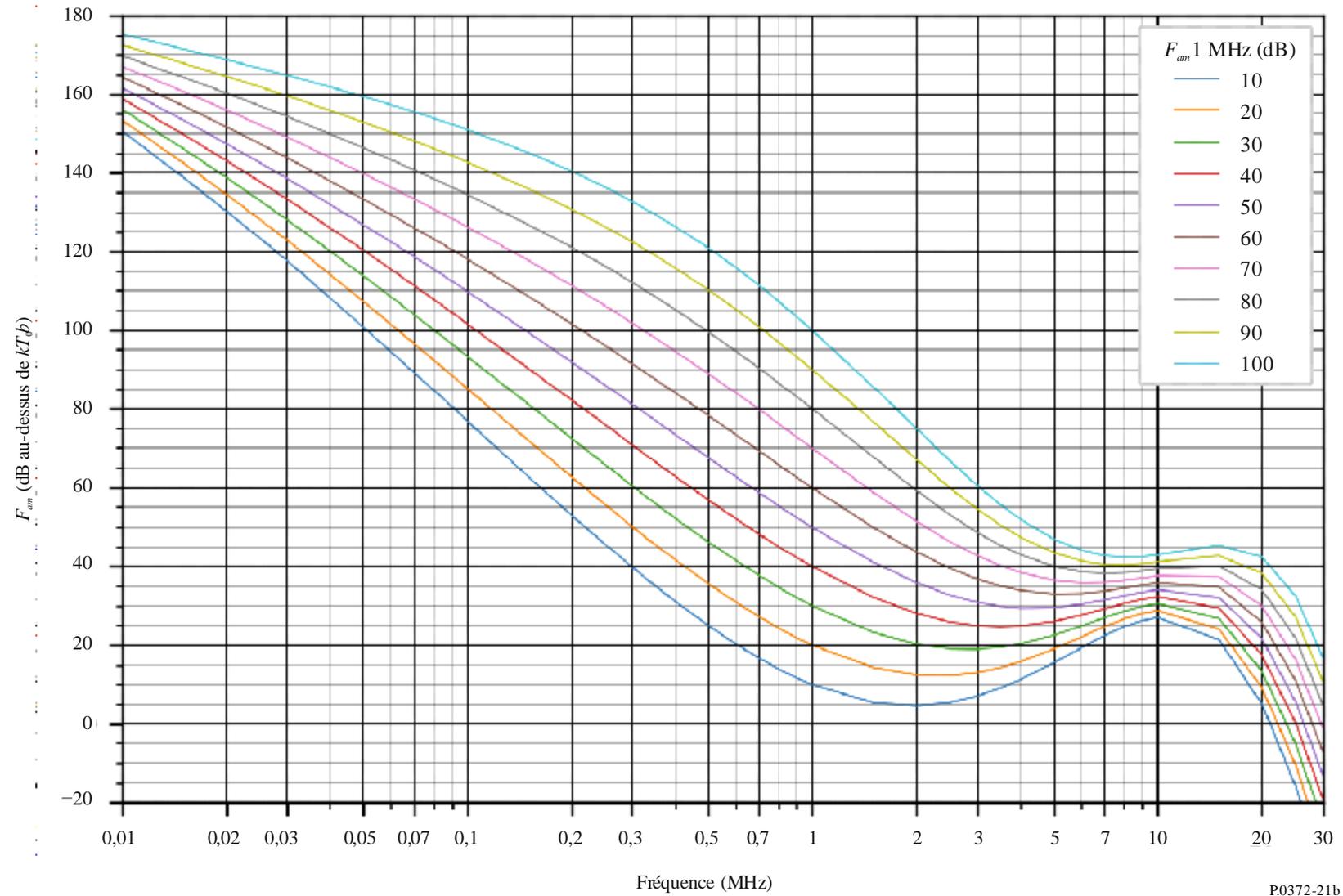


FIGURE 21c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 0800-1200 heure locale)

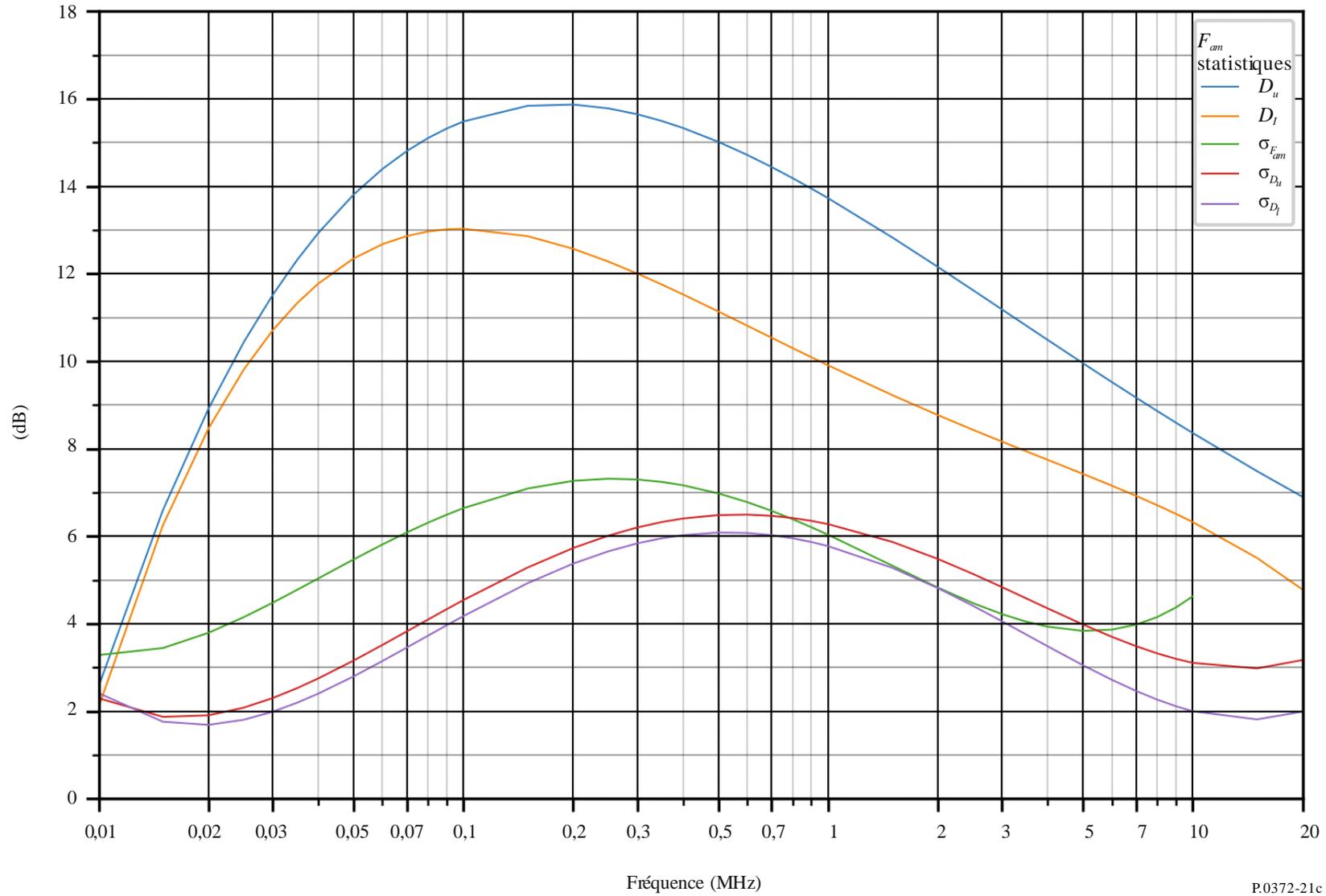


FIGURE 22a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Mars-Avril-Mai; 1200-1600 heure locale)

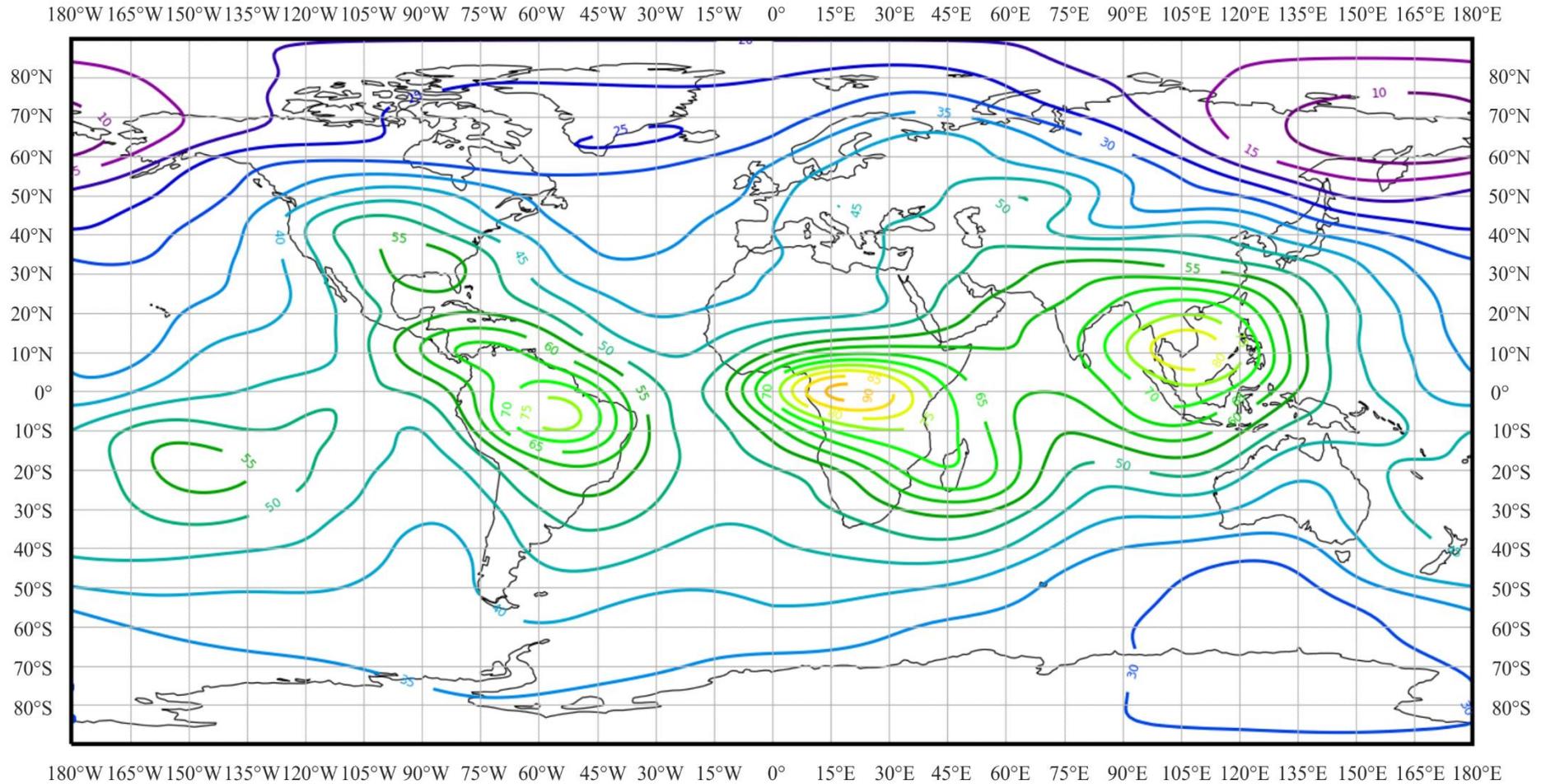


FIGURE 22b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 1200-1600 heure locale)

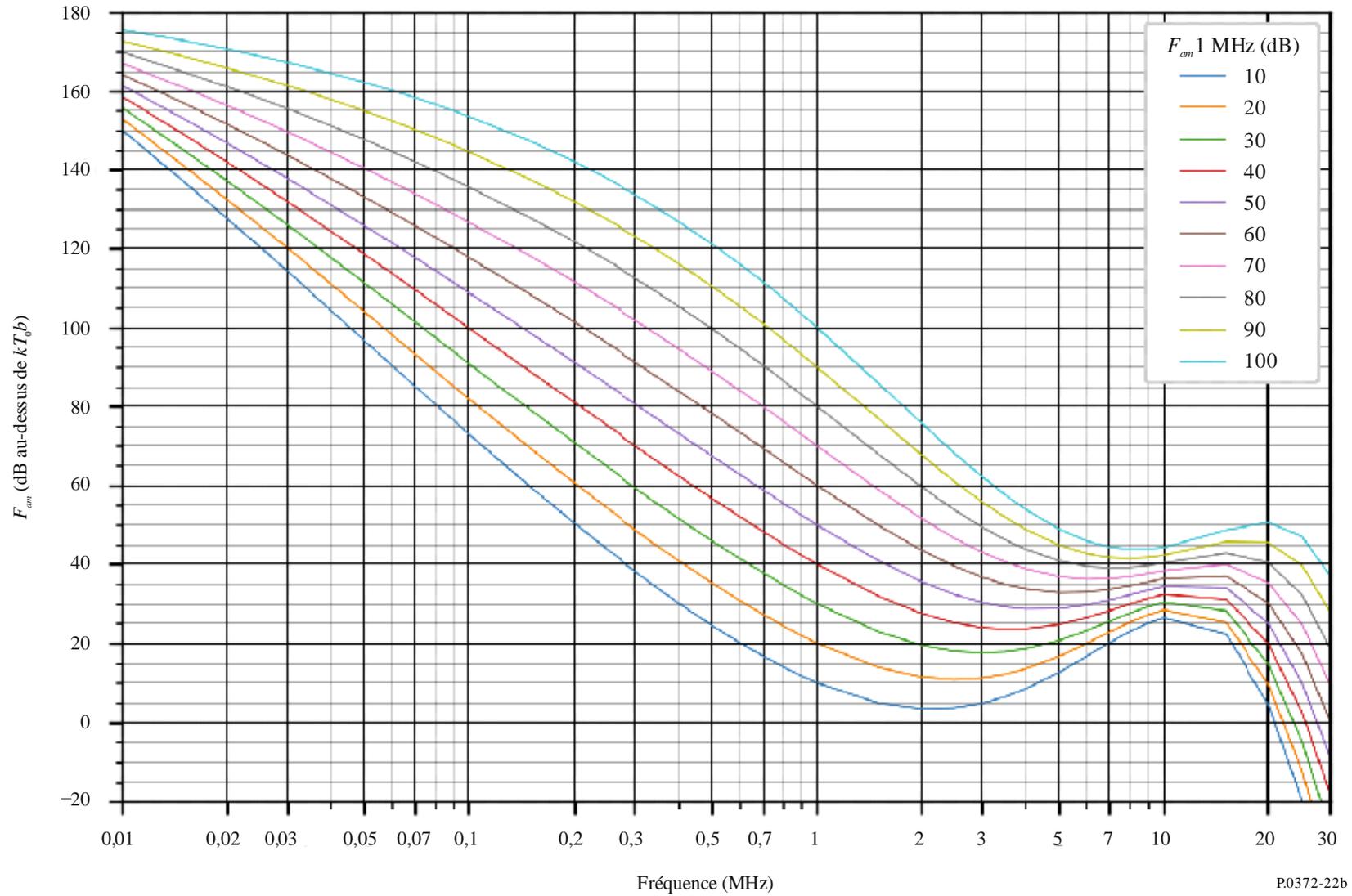


FIGURE 22c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 1200-1600 heure locale)

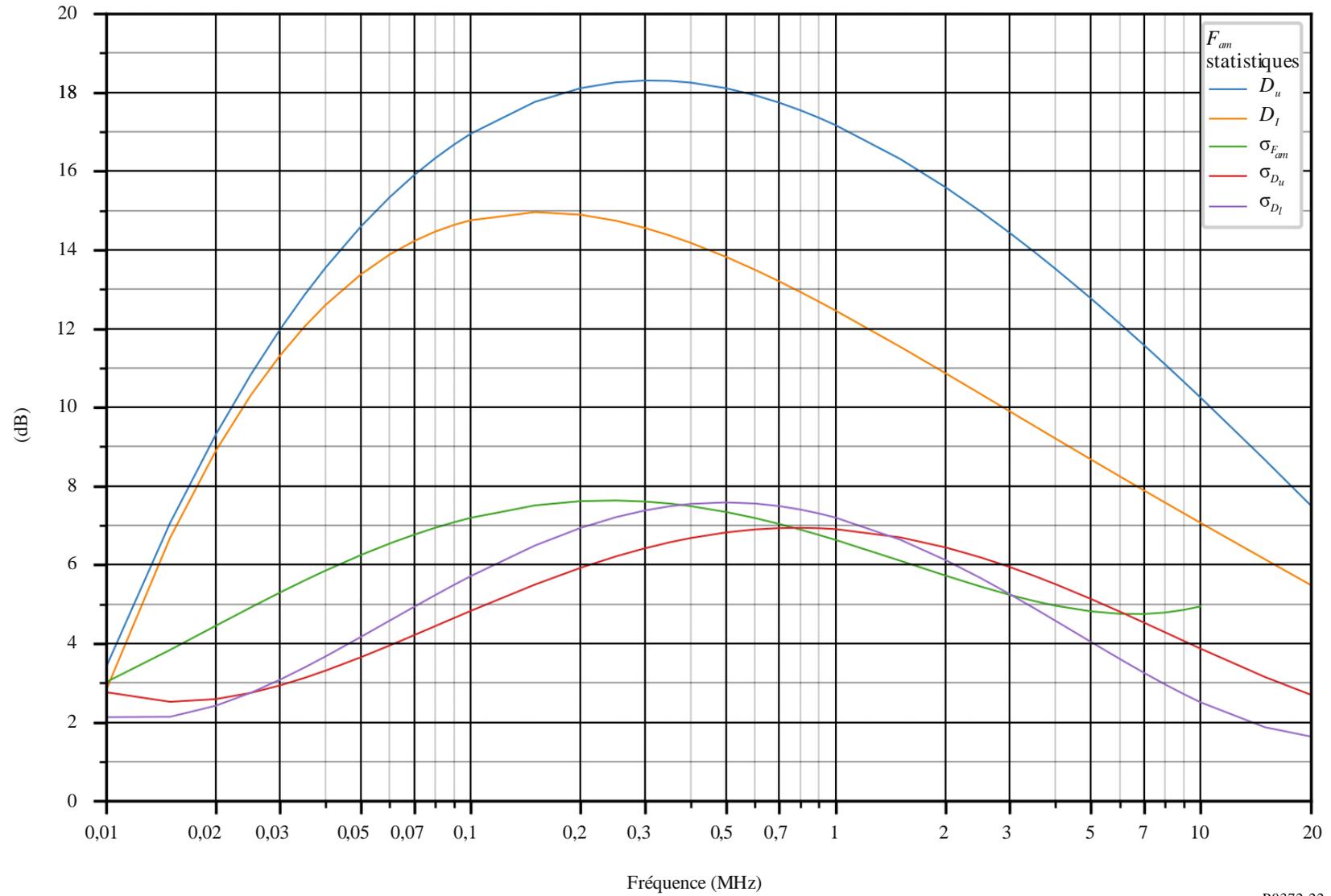


FIGURE 23a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Mars-Avril-Mai; 1600-2000 heure locale)

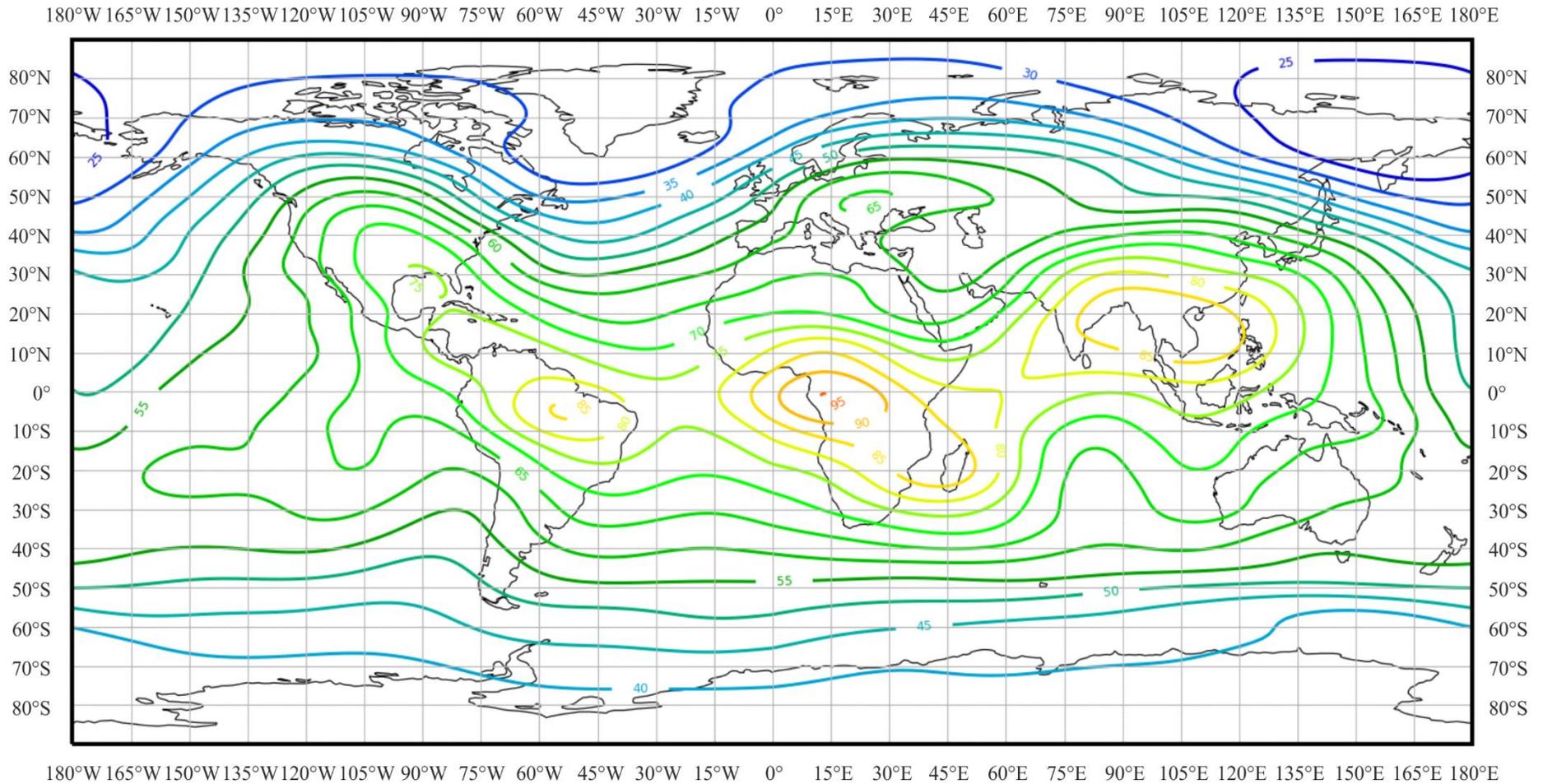


FIGURE 23b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 1600-2000 heure locale)

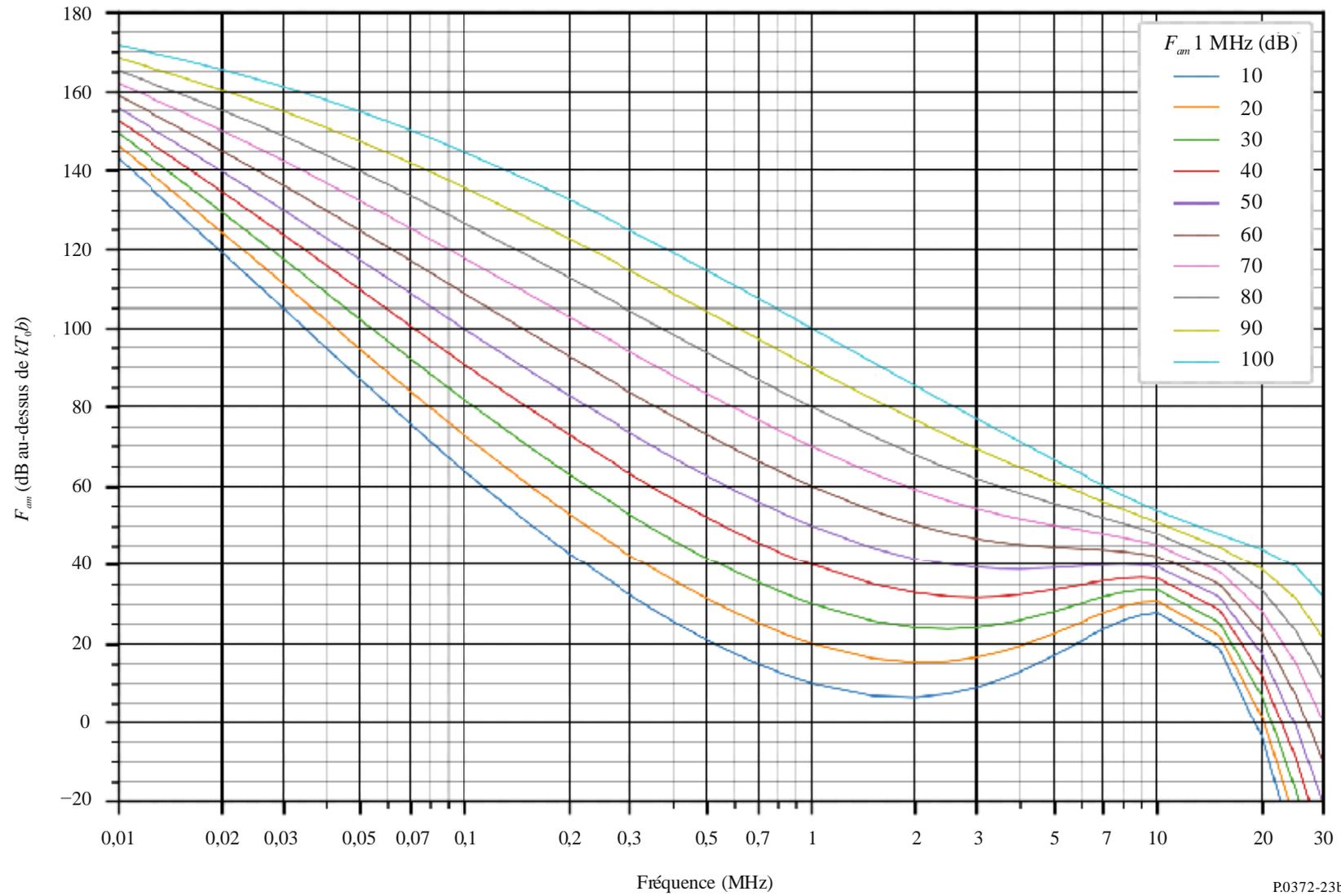


FIGURE 23c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 1600-2000 heure locale)

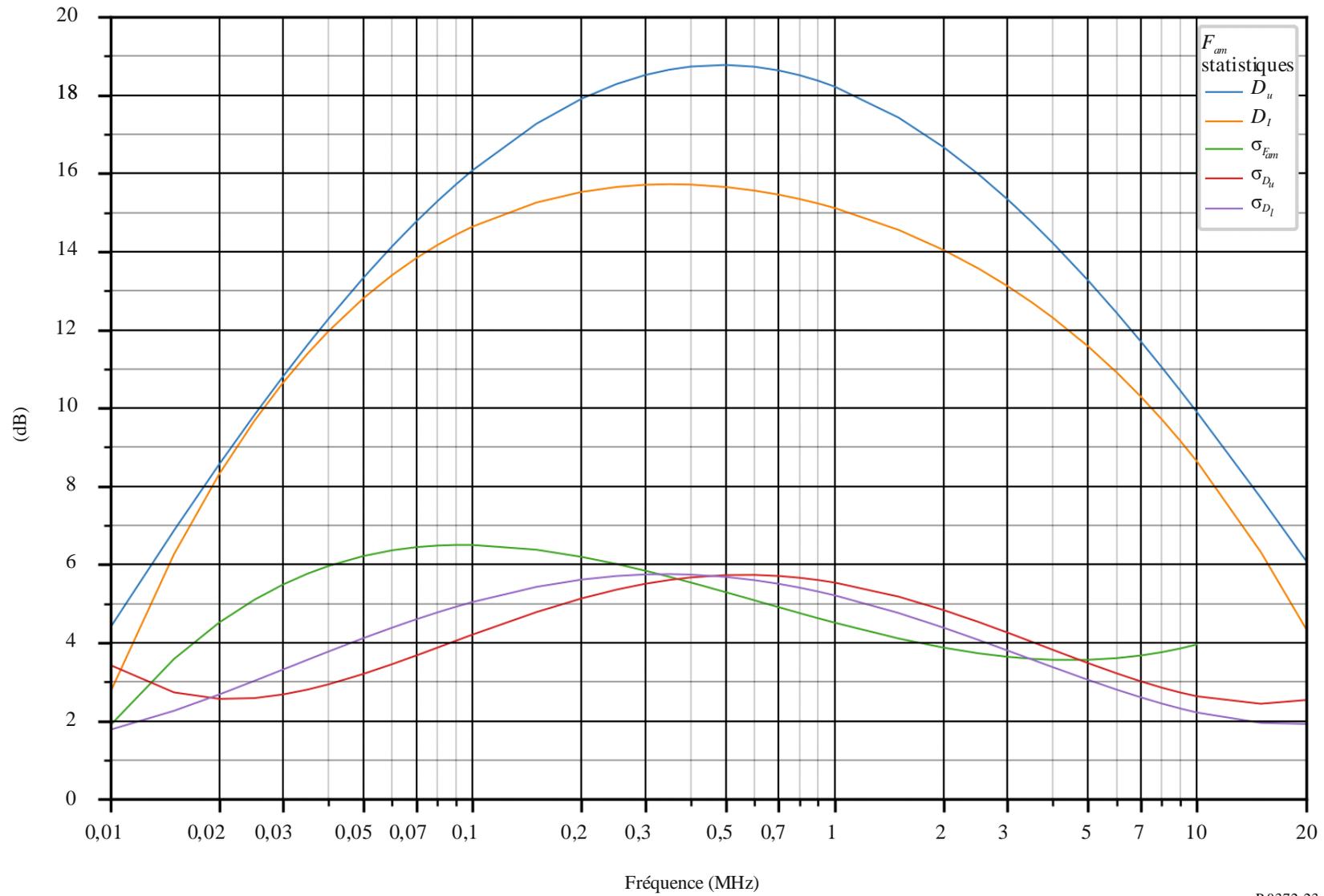


FIGURE 24a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Mars-Avril-Mai; 2000-2400 heure locale)

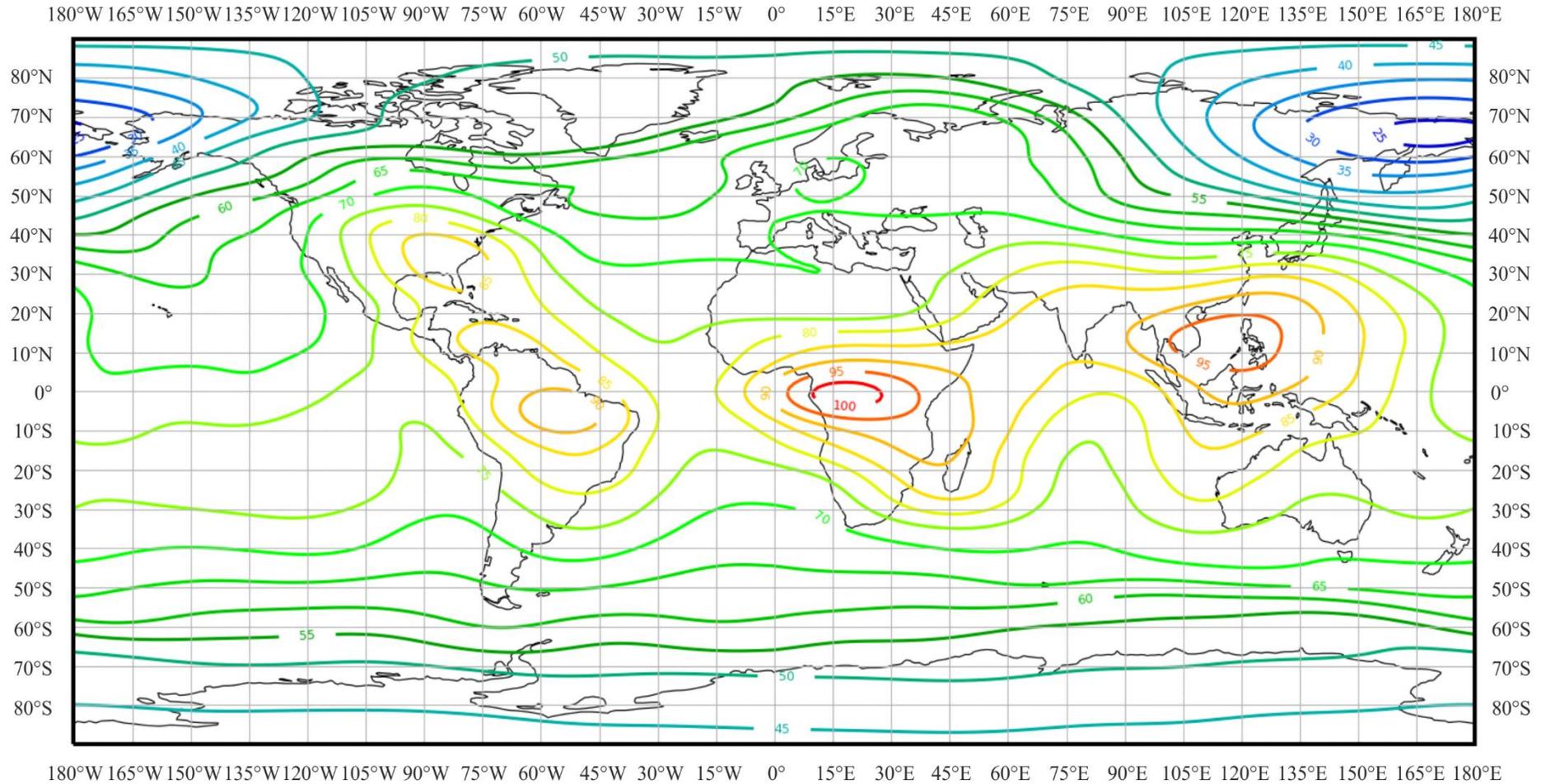


FIGURE 24b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 2000-2400 heure locale)

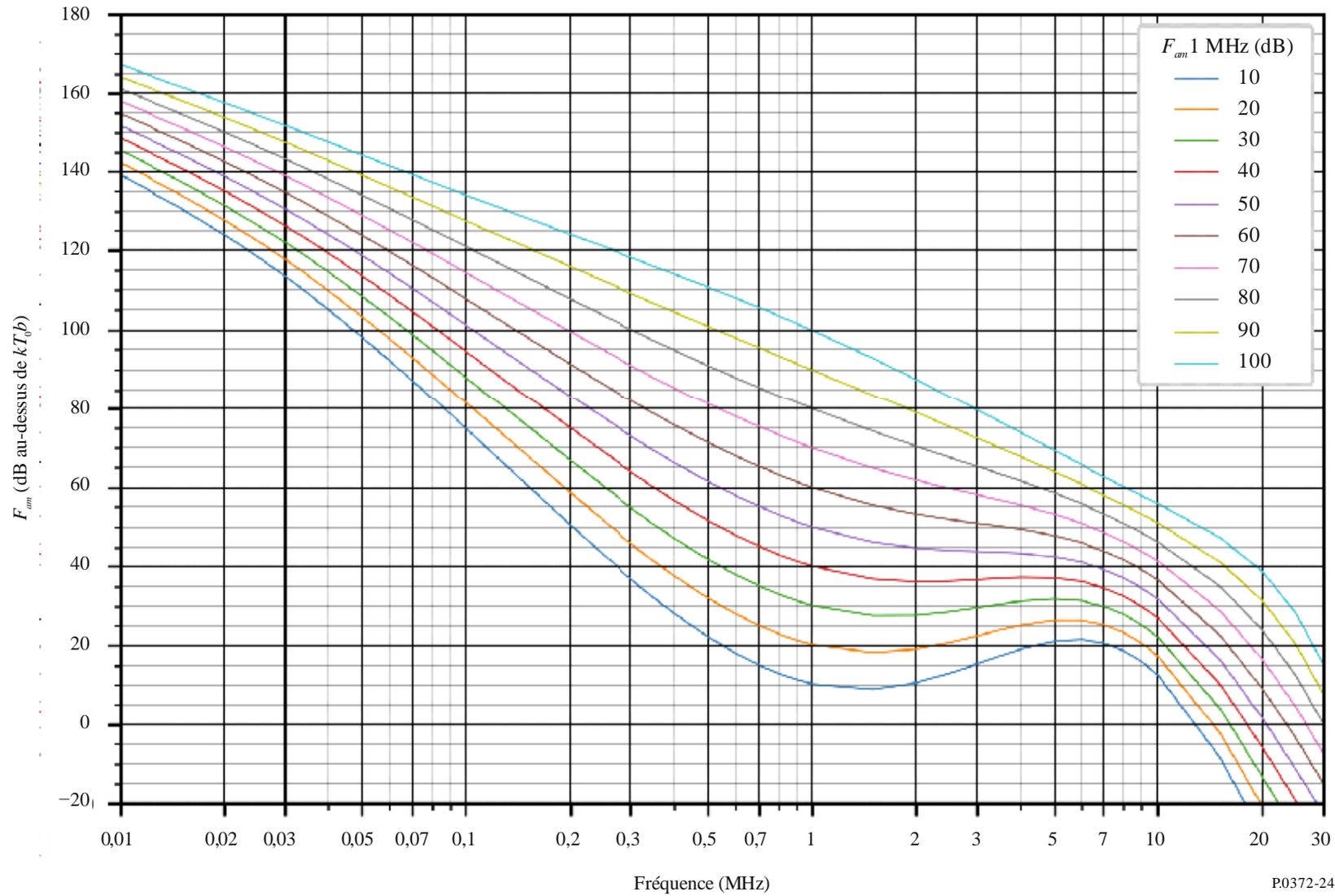


FIGURE 24c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Mars-Avril-Mai; Hémisphère sud: Septembre-Octobre-Novembre; 2000-2400 heure locale)

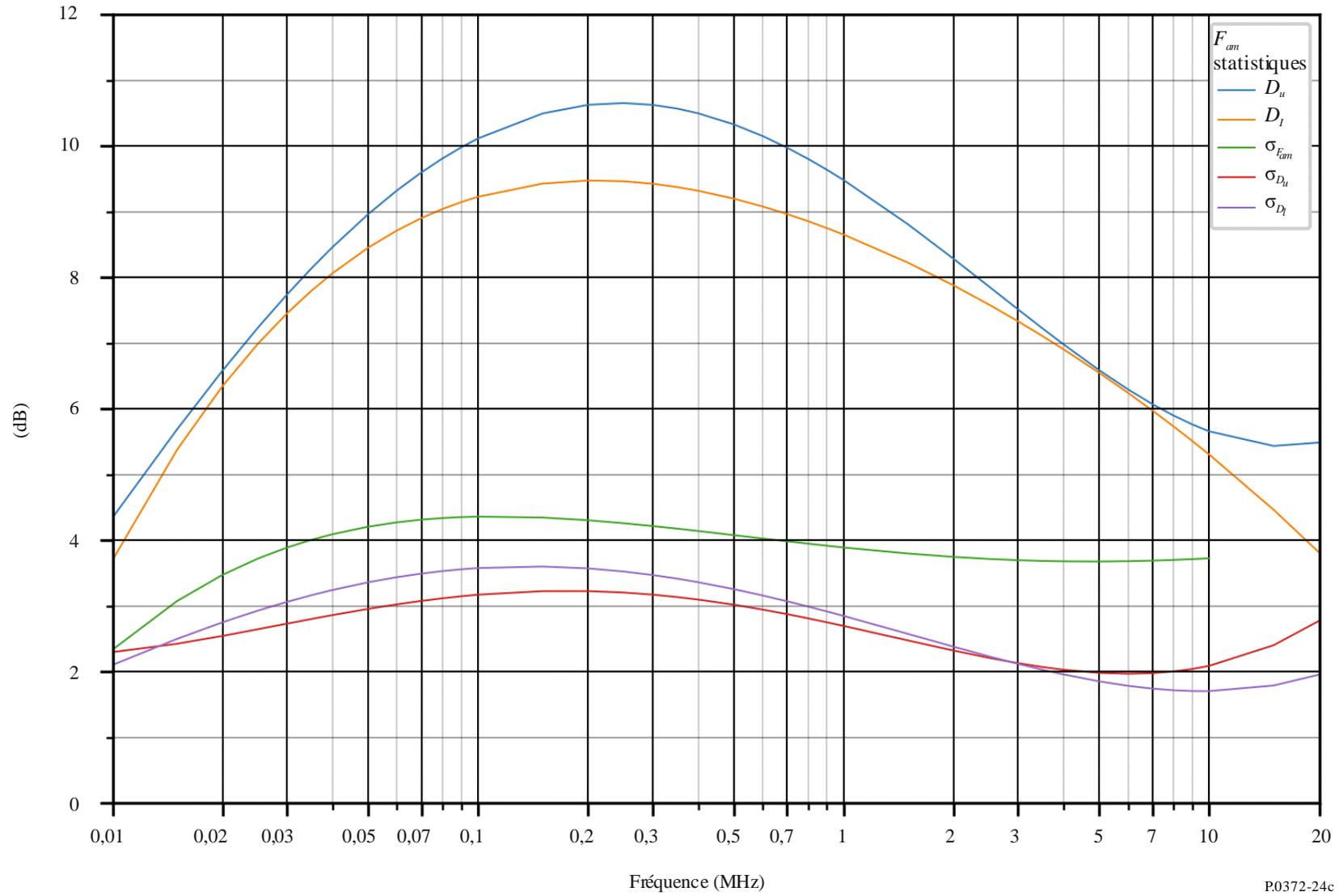


FIGURE 25a  
Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Juin-Juillet-Août; 0000-0400 heure locale)

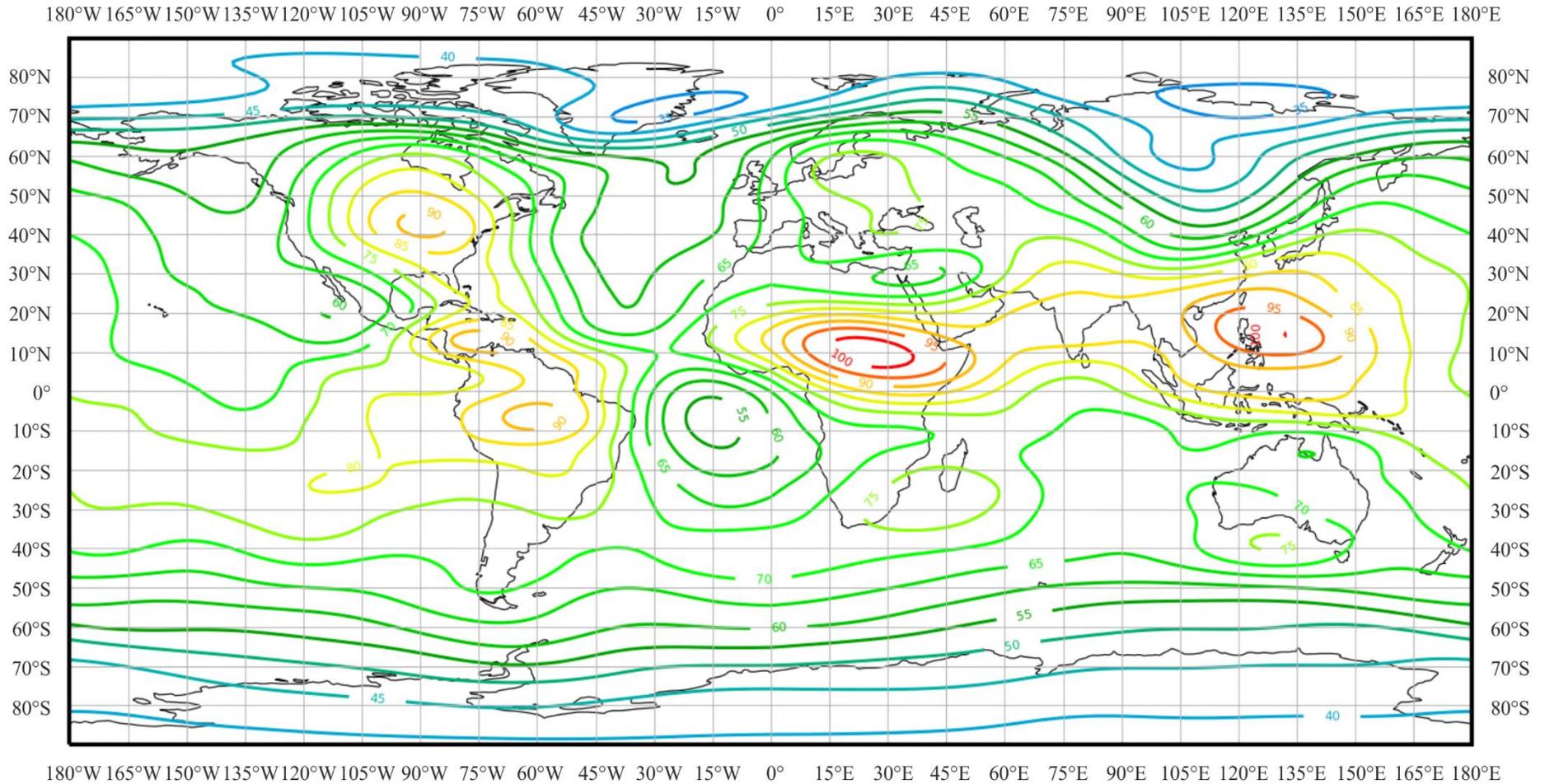


FIGURE 25b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 0000-0400 heure locale)

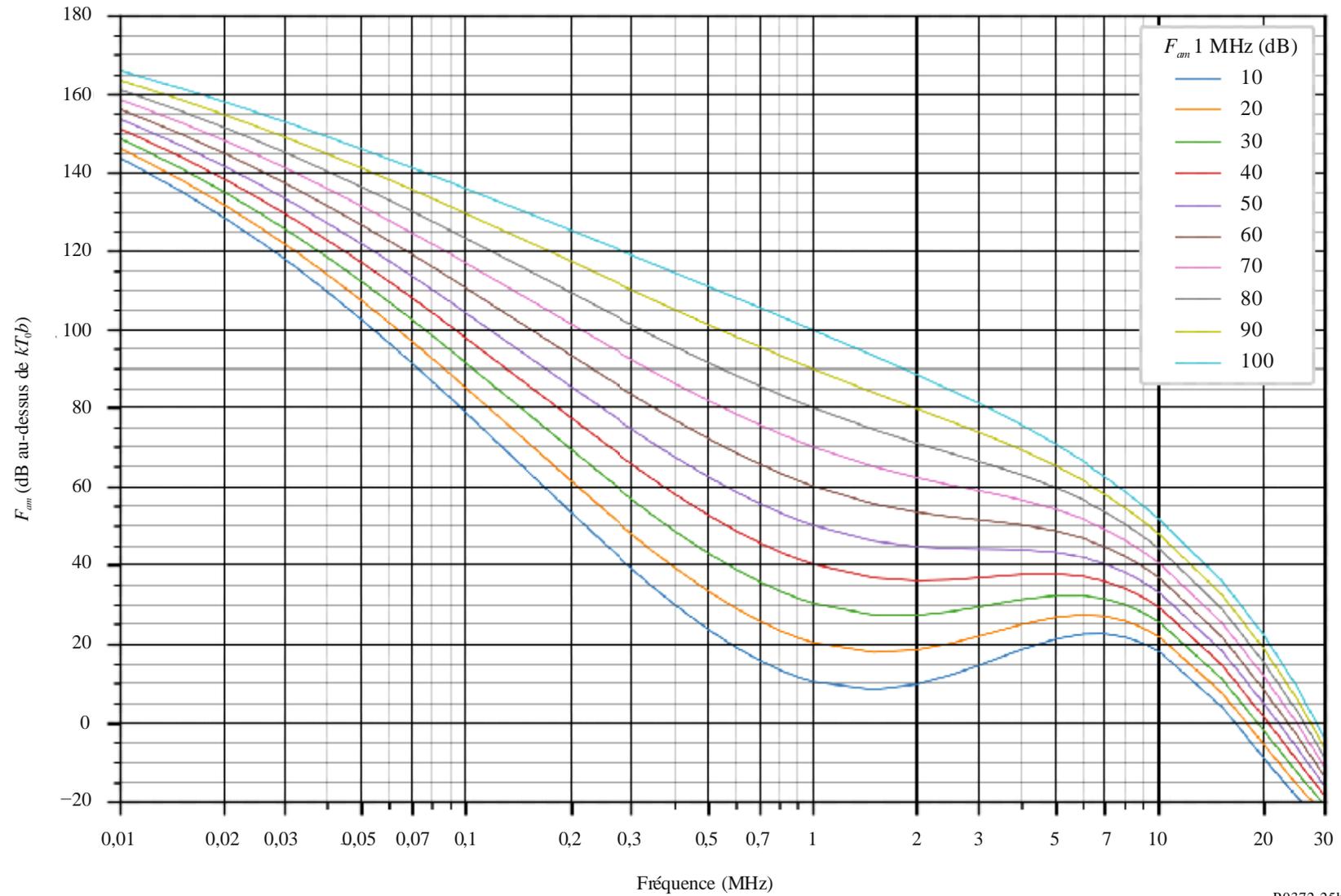


FIGURE 25c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 0000-0400 heure locale)

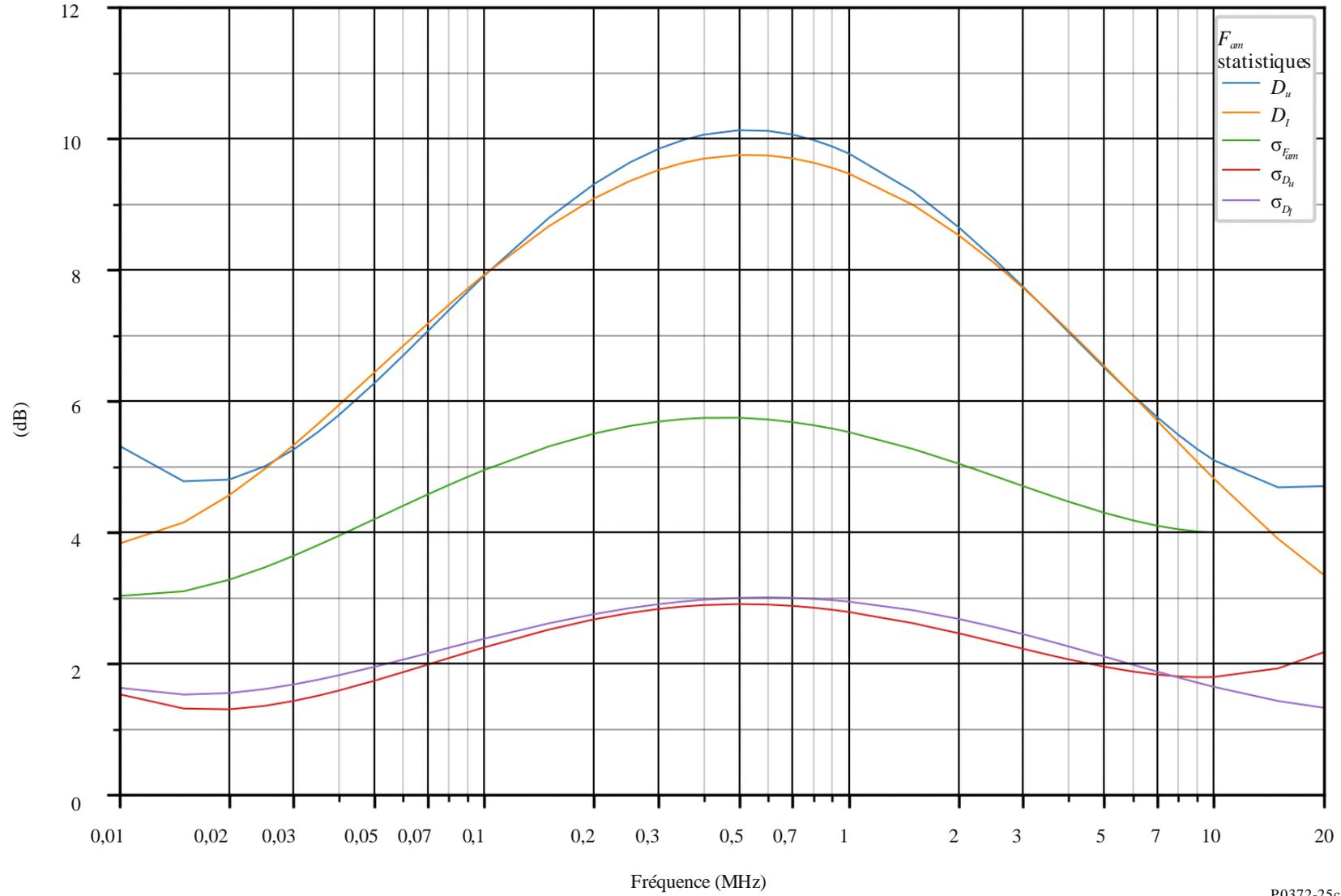


FIGURE 26a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Juin-Juillet-Août; 0400-0800 heure locale)

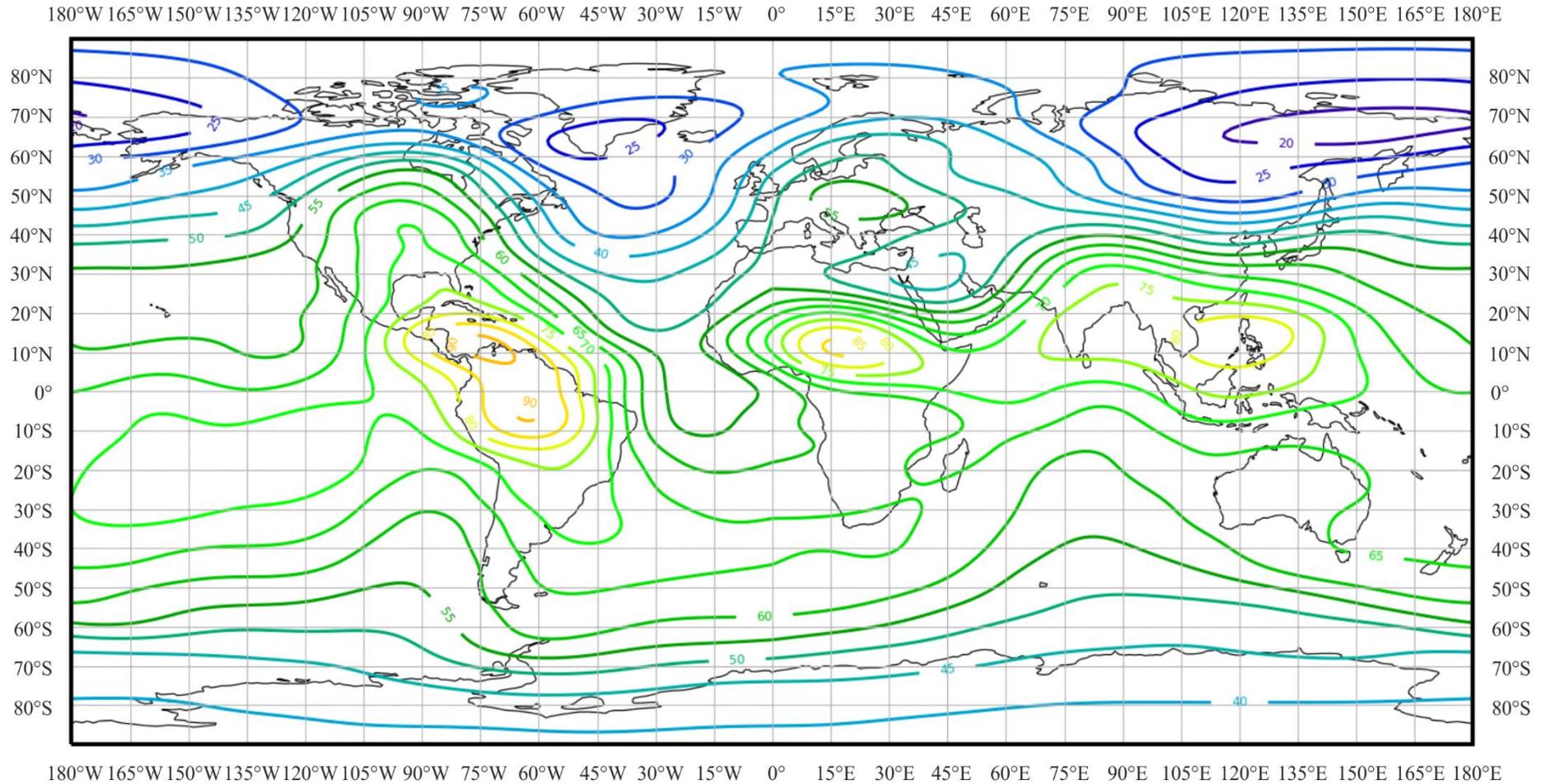


FIGURE 26b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 0400-0800 heure locale)

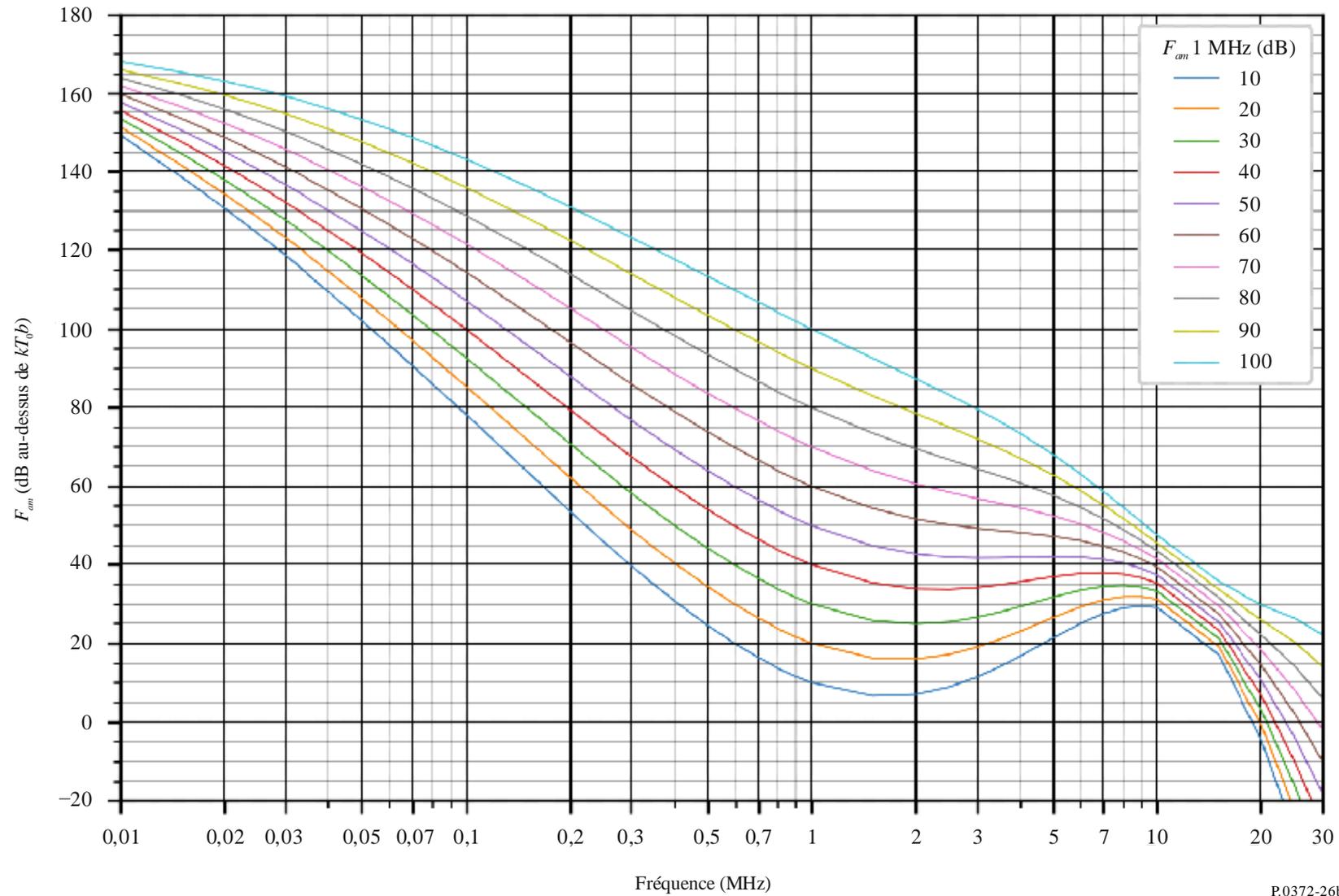


FIGURE 26c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 0400-0800 heure locale)

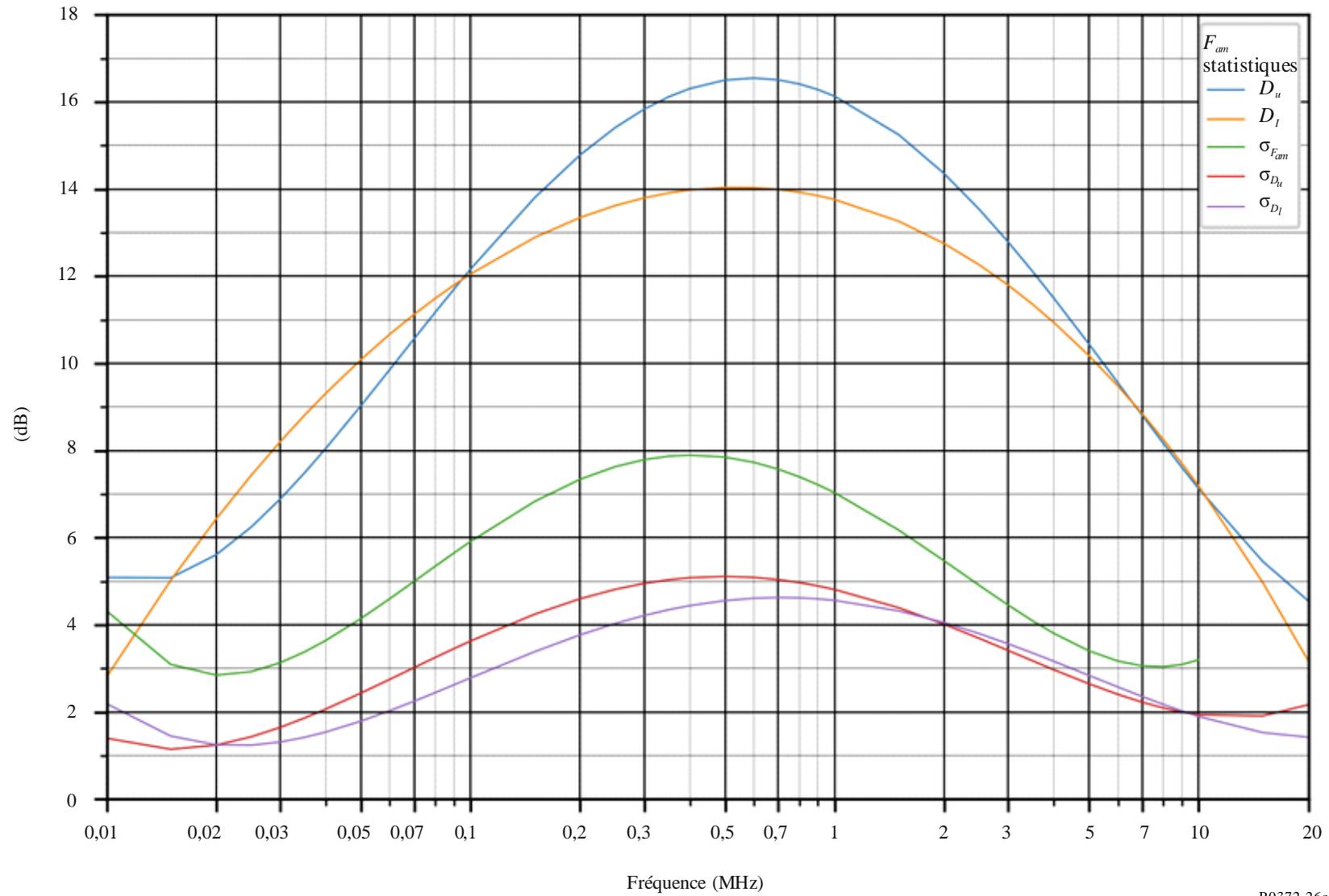


FIGURE 27a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Juin-Juillet-Août; 0800-1200 heure locale)

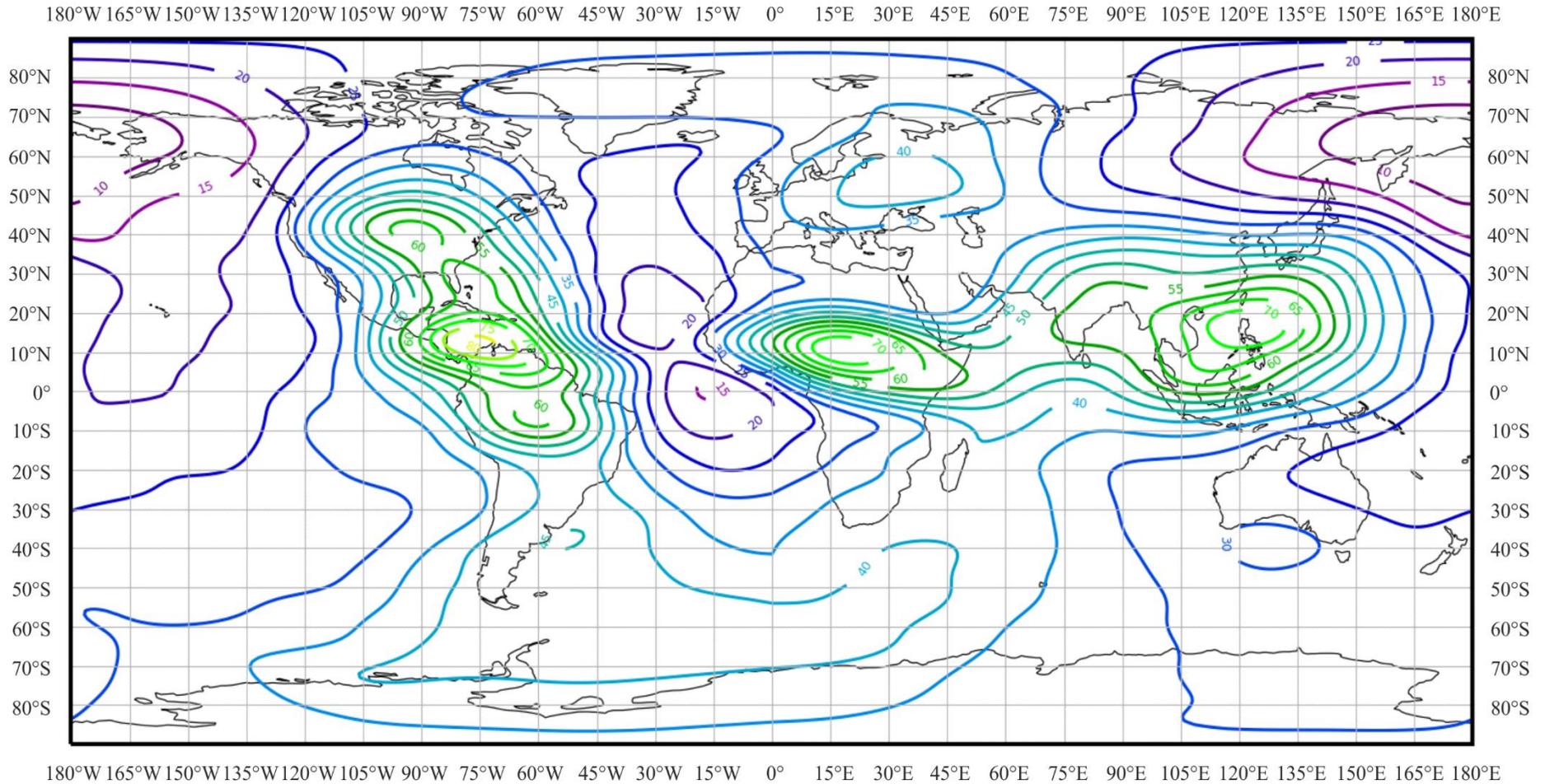


FIGURE 27b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 0800-1200 heure locale)

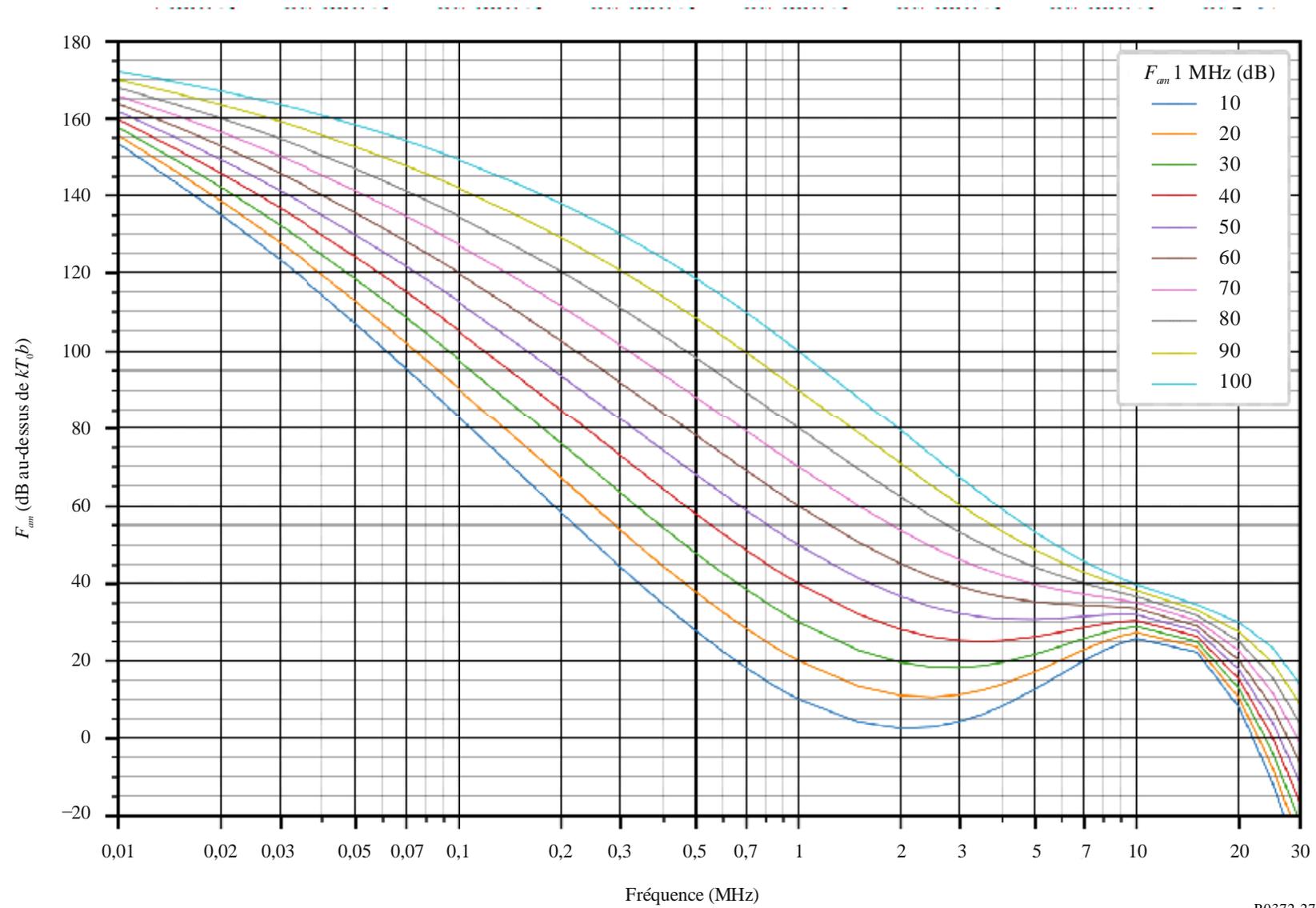


FIGURE 27c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 0800-1200 heure locale)

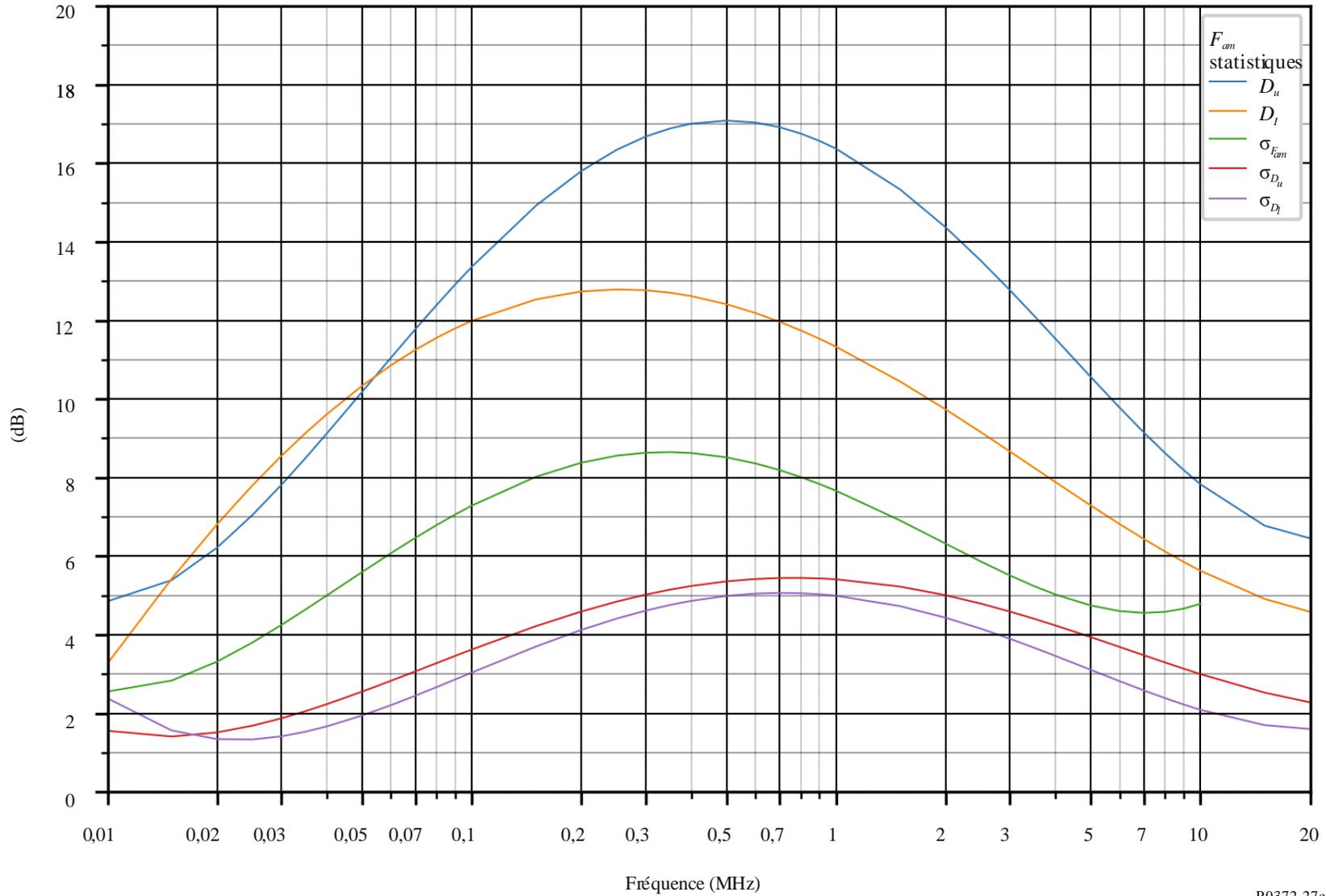


FIGURE 28a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Juin-Juillet-Août; 1200-1600 heure locale)

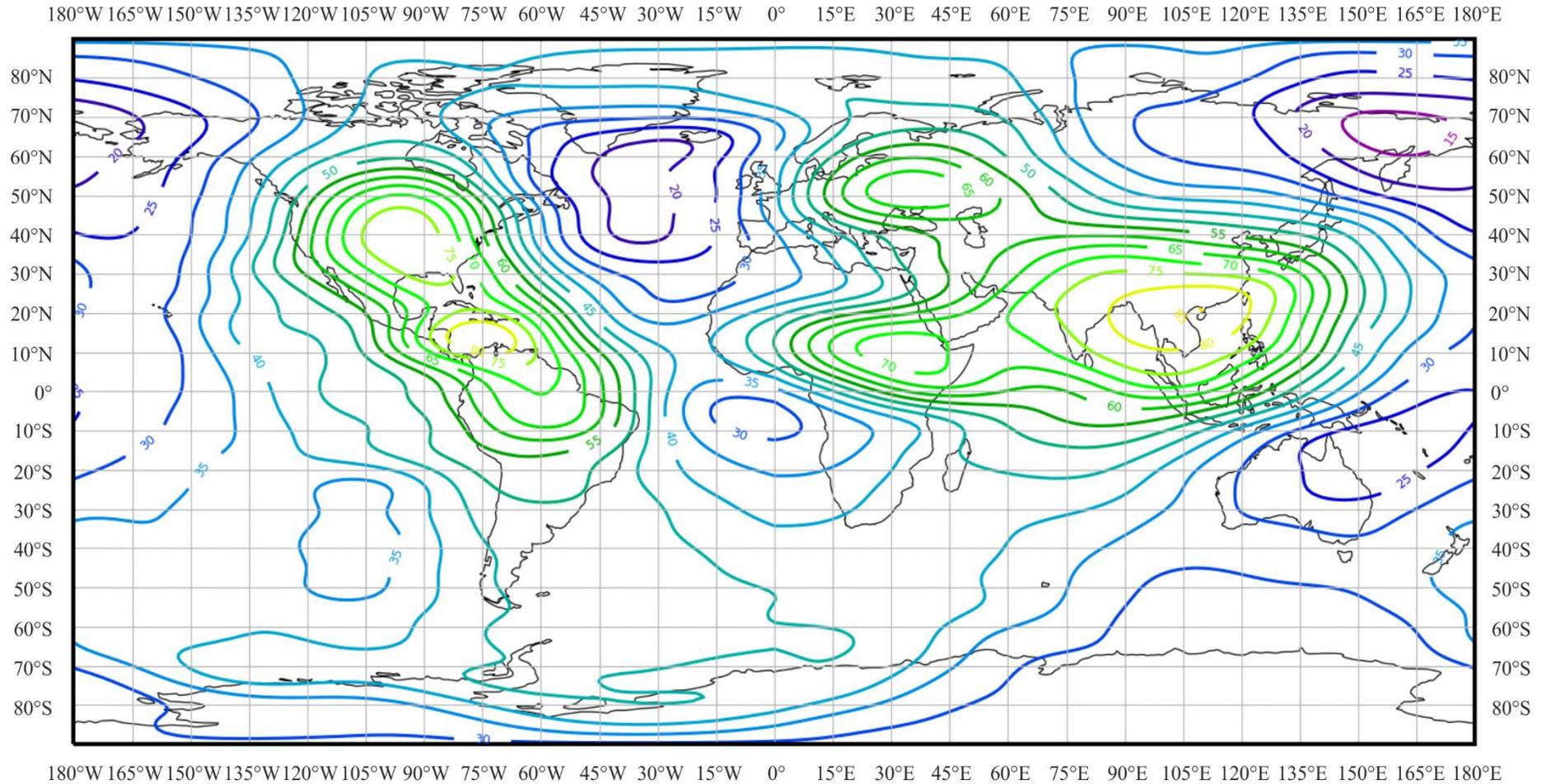


FIGURE 28b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 1200-1600 heure locale)

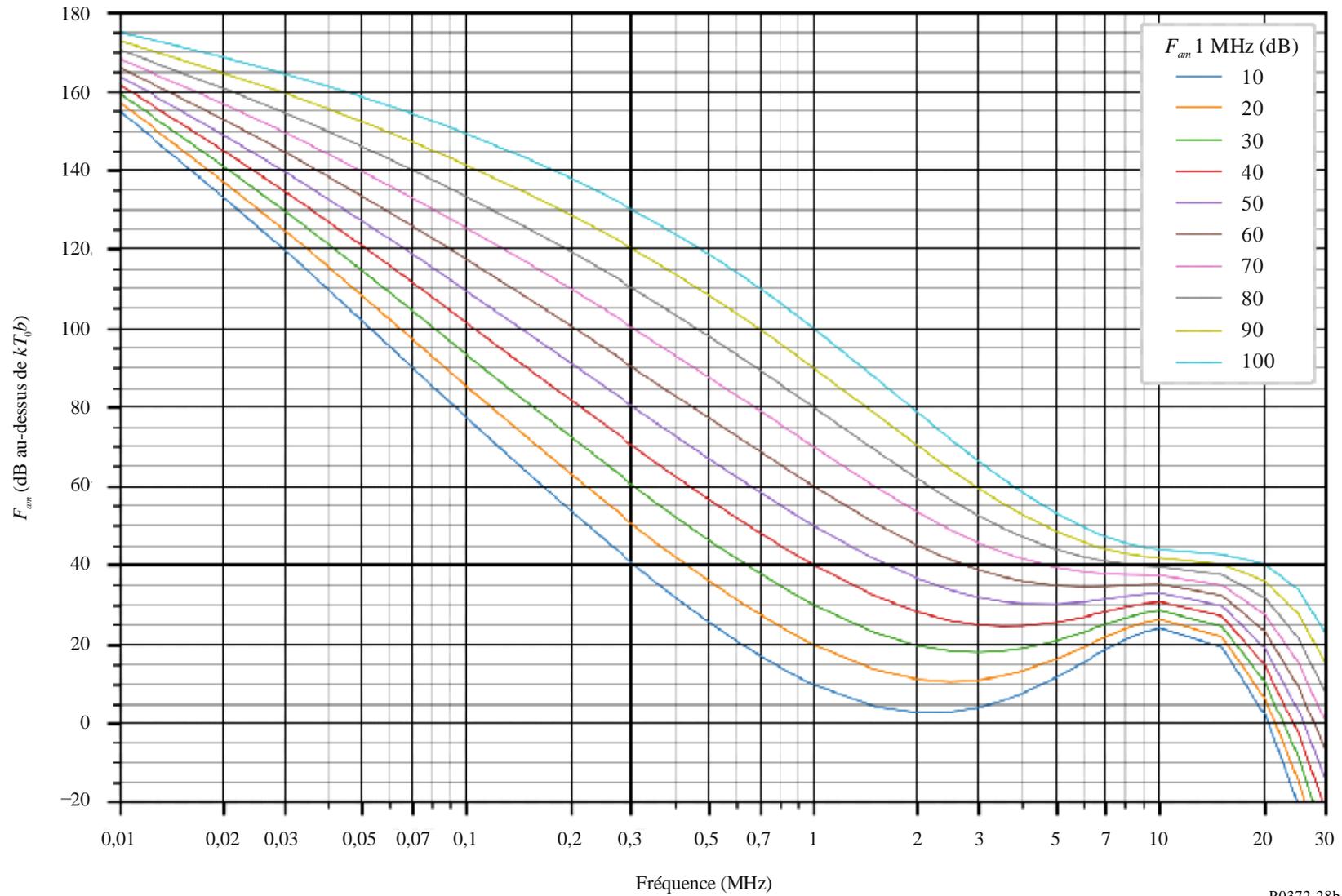


FIGURE 28c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 1200-1600 heure locale)

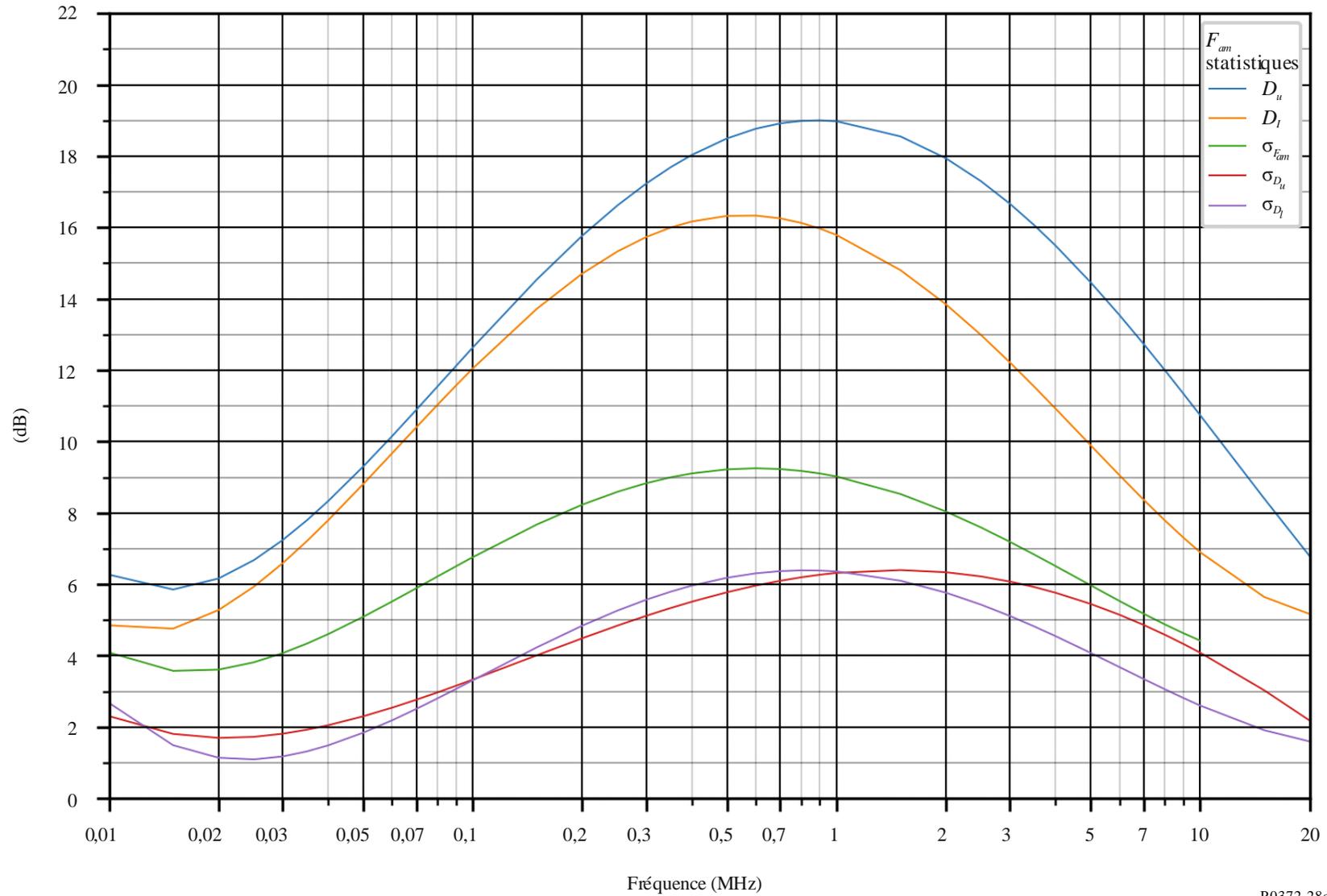


FIGURE 29a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Juin-Juillet-Août; 1600-2000 heure locale)

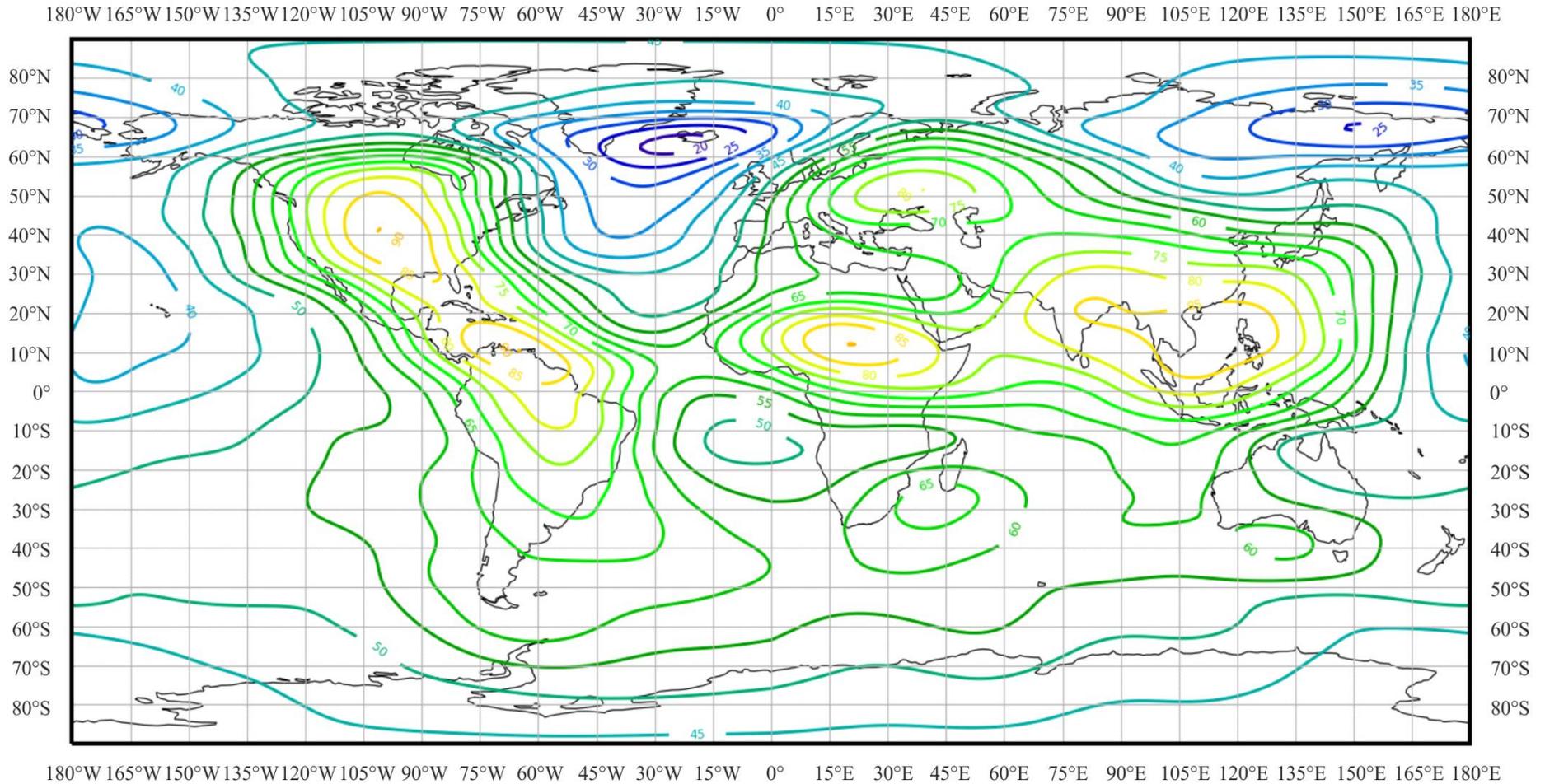


FIGURE 29b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 1600-2000 heure locale)

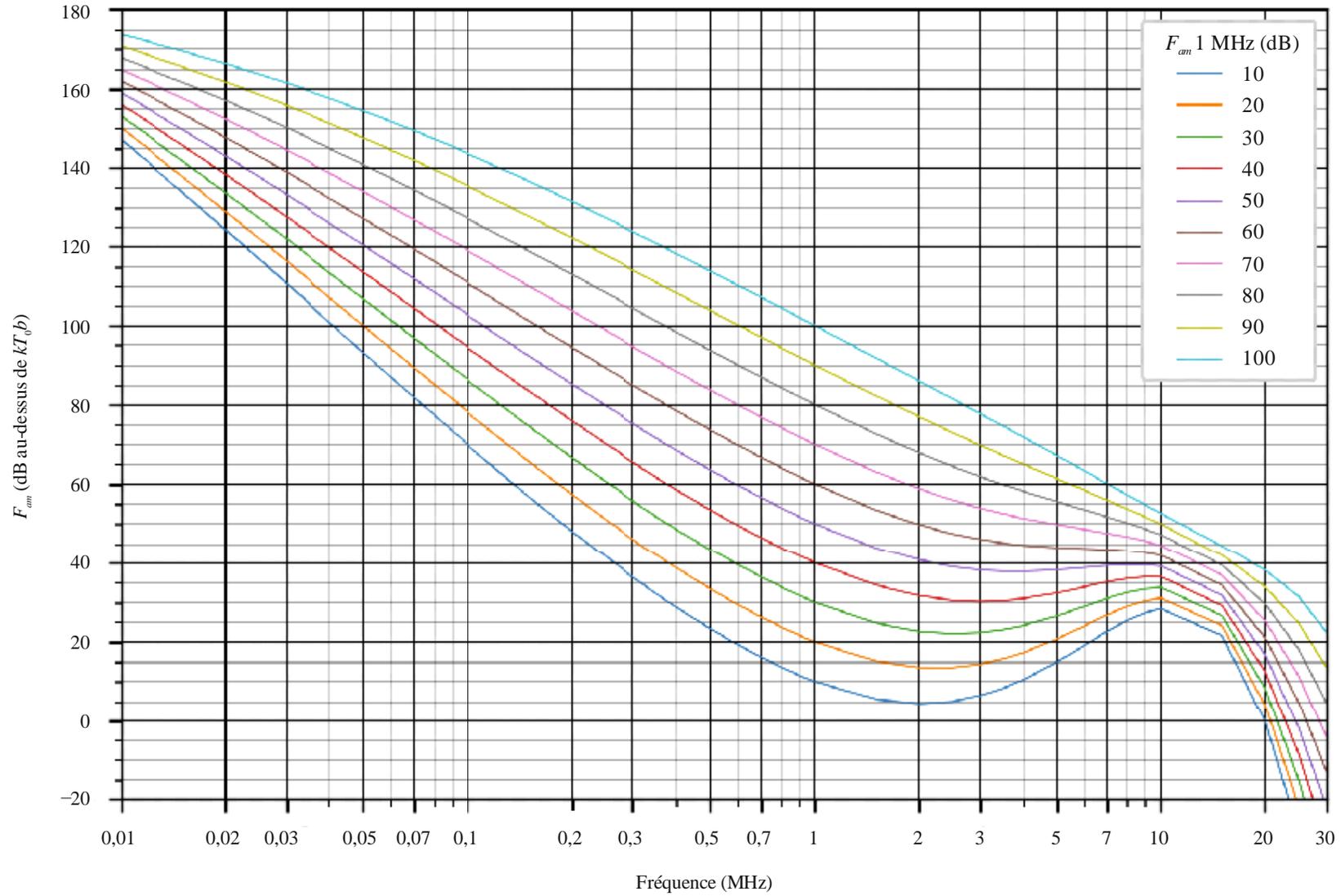


FIGURE 29c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 1600-2000 heure locale)

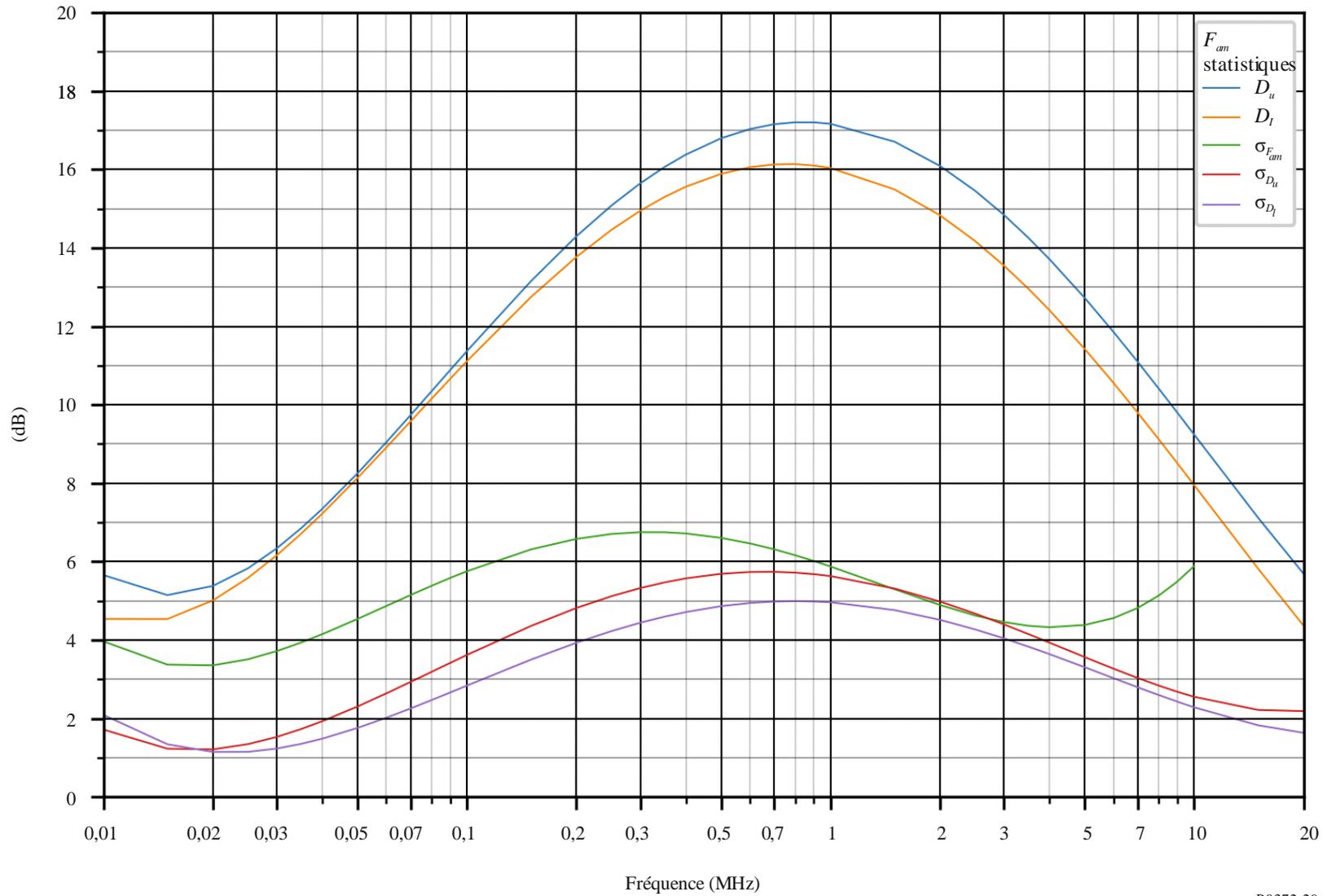


FIGURE 30a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Juin-Juillet-Août; 2000-2400 heure locale)

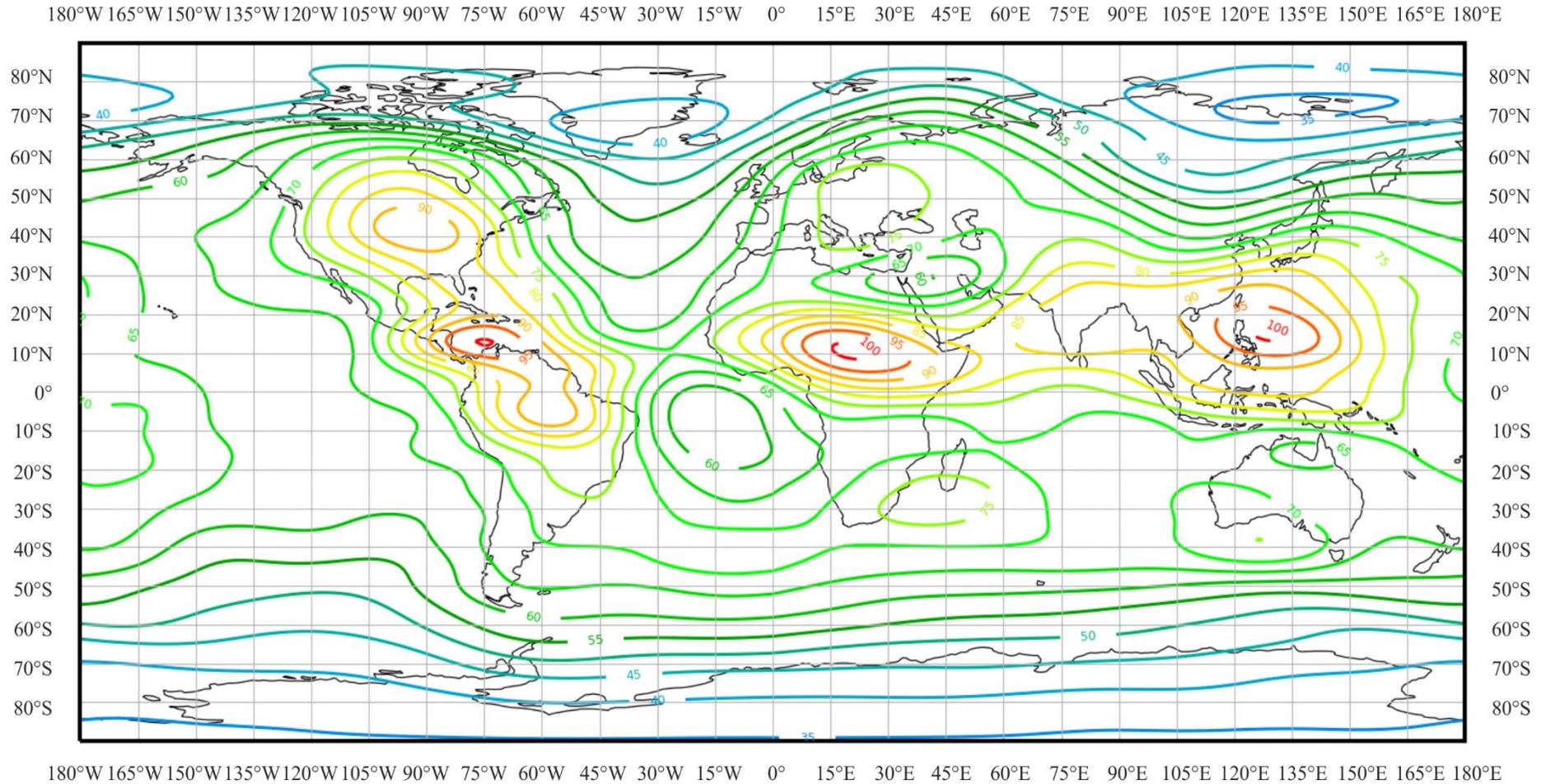


FIGURE 30b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 2000-2400 heure locale)

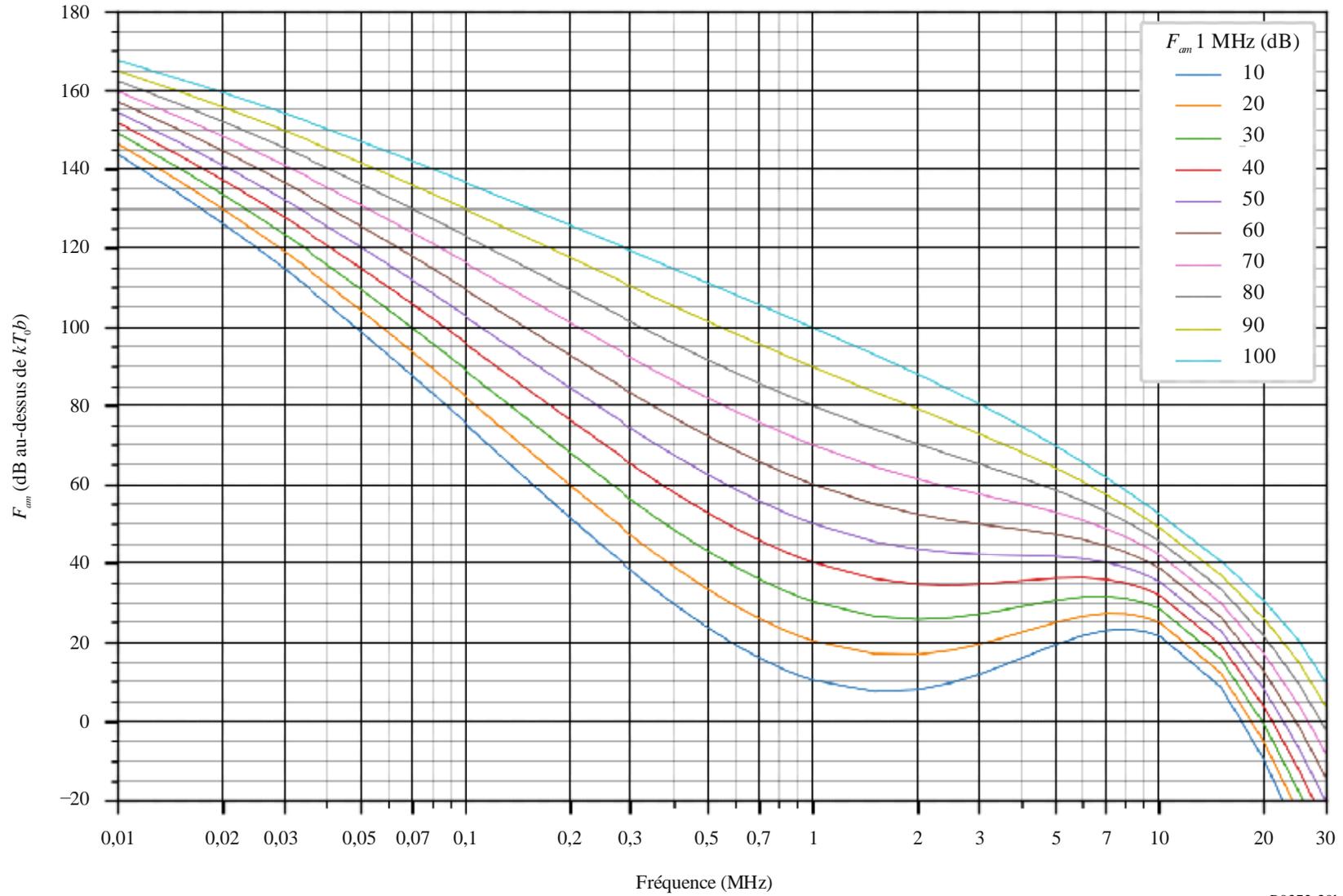


FIGURE 30c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Juin-Juillet-Août; Hémisphère sud: Décembre-Janvier-Février; 2000-2400 heure locale)

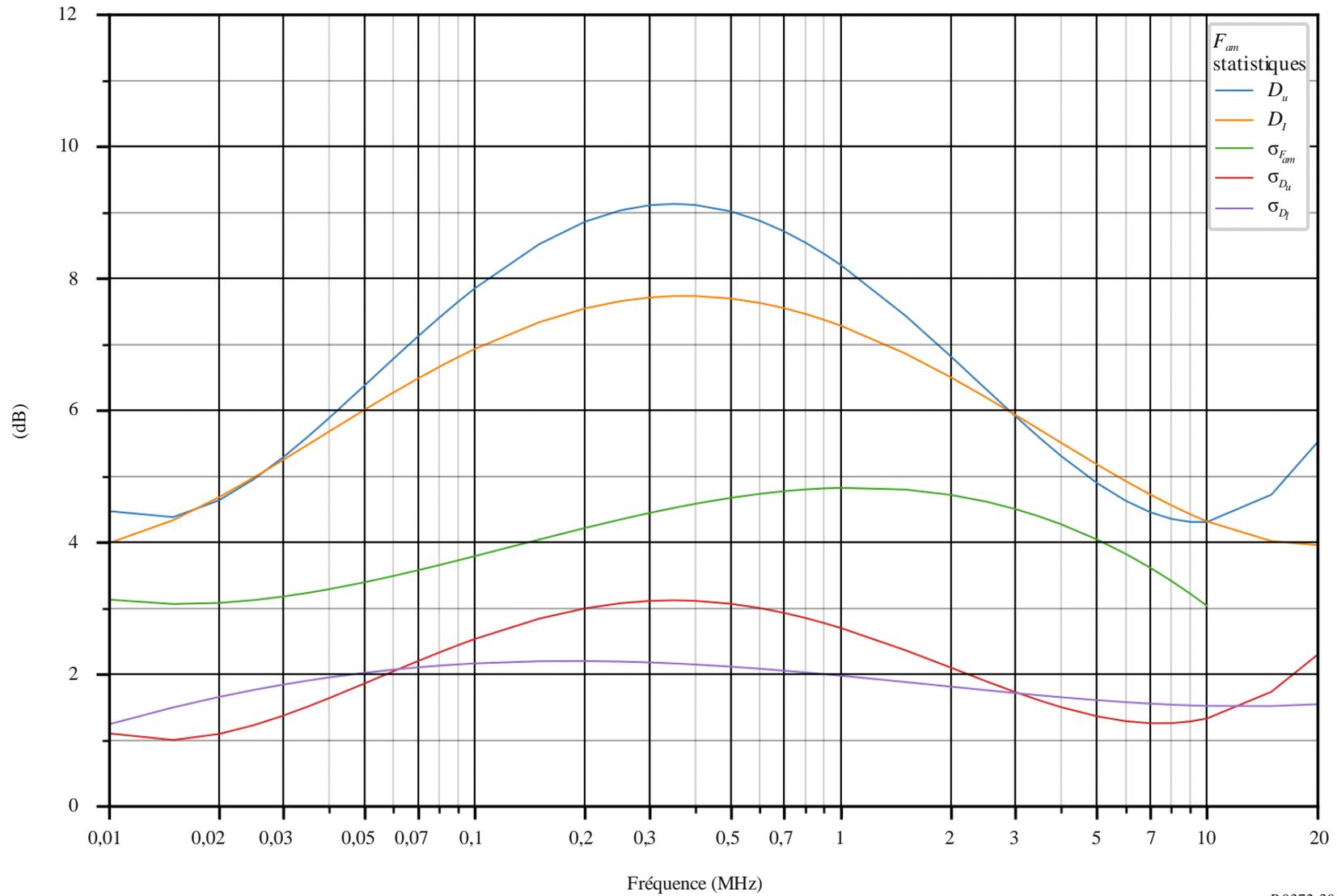


FIGURE 31a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Septembre-Octobre-Novembre; 0000-0400 heure locale)

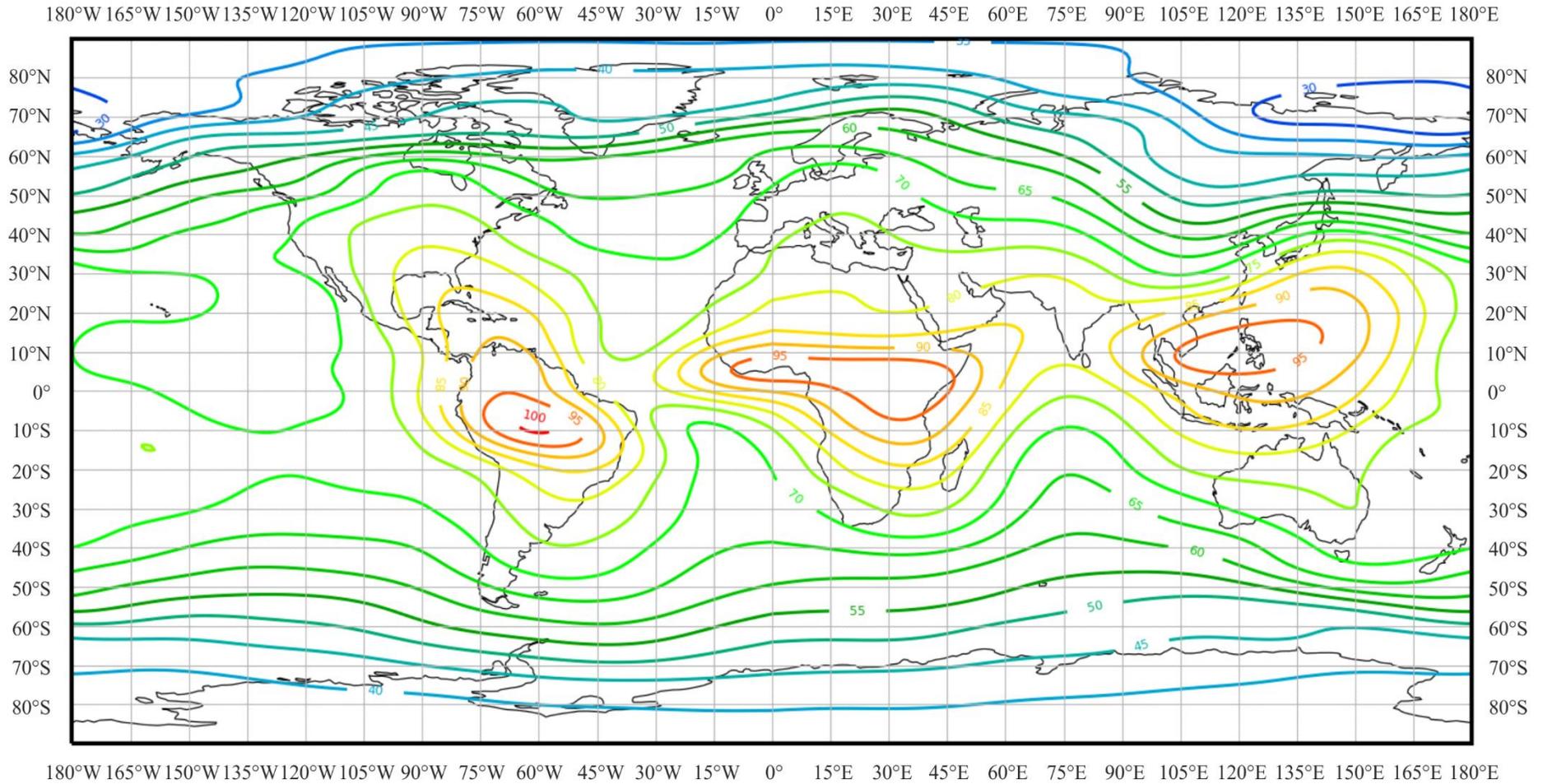


FIGURE 31b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 0000-0400 heure locale)

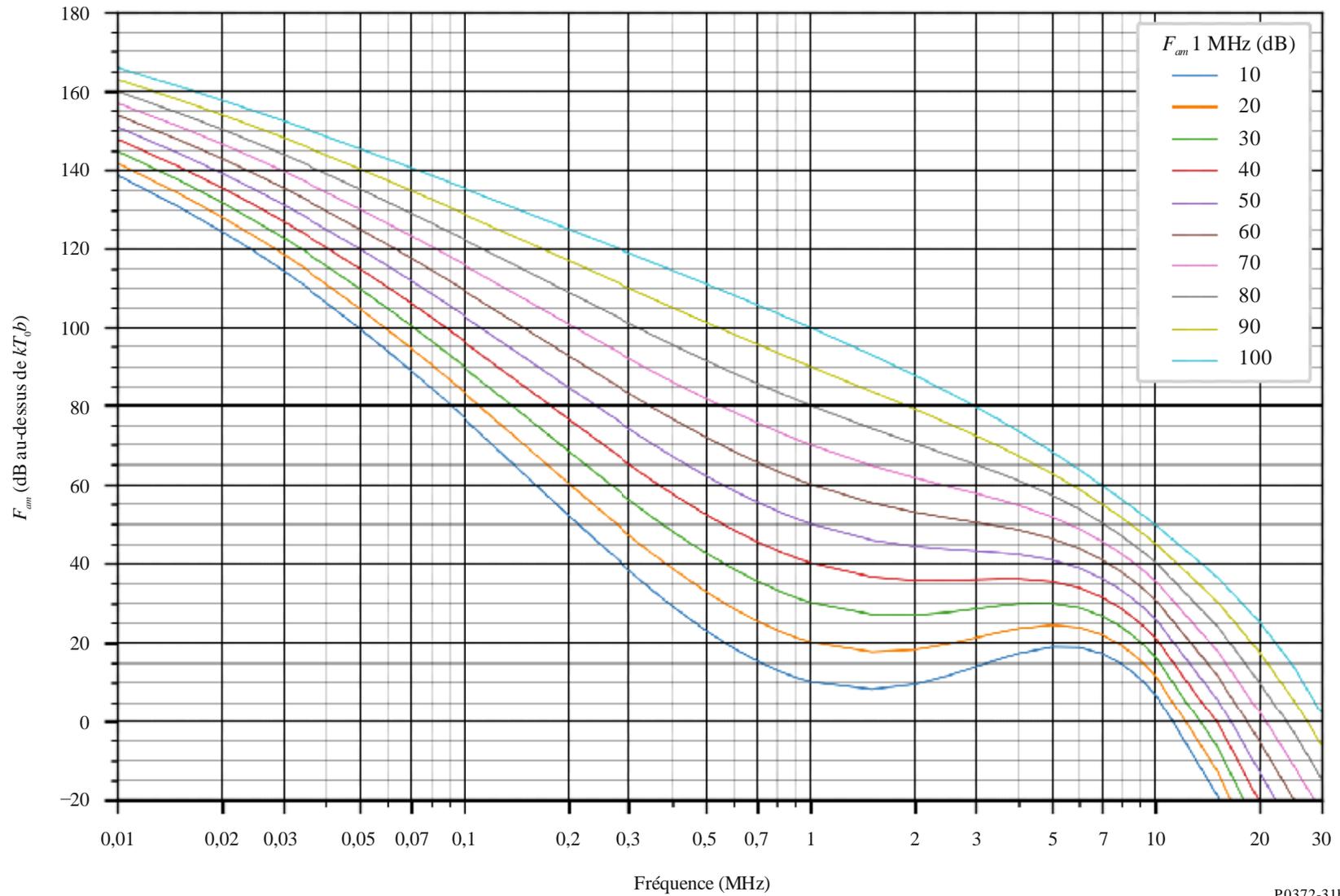


FIGURE 31c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 0000-0400 heure locale)

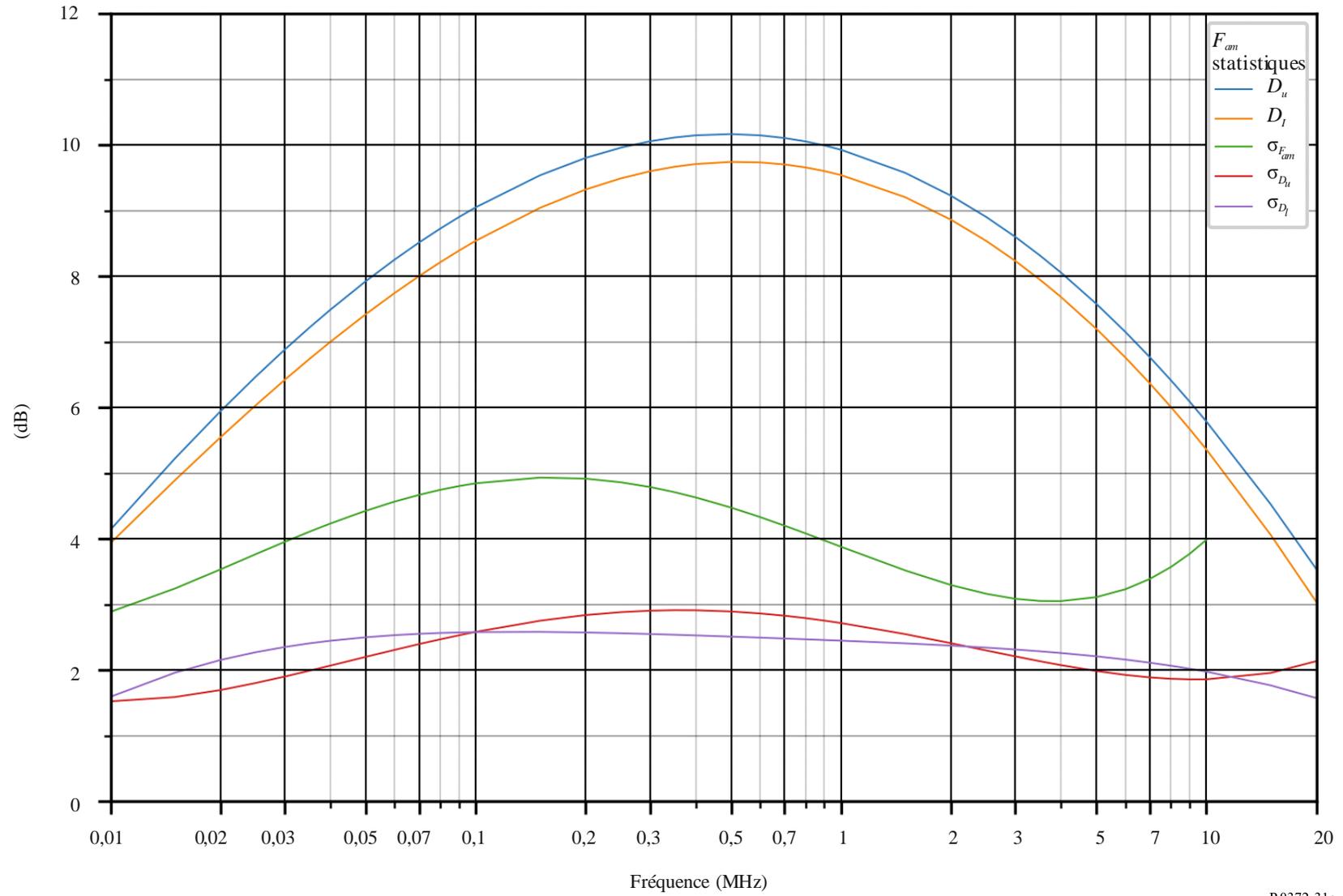


FIGURE 32a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Septembre-Octobre-Novembre; 0400-0800 heure locale)

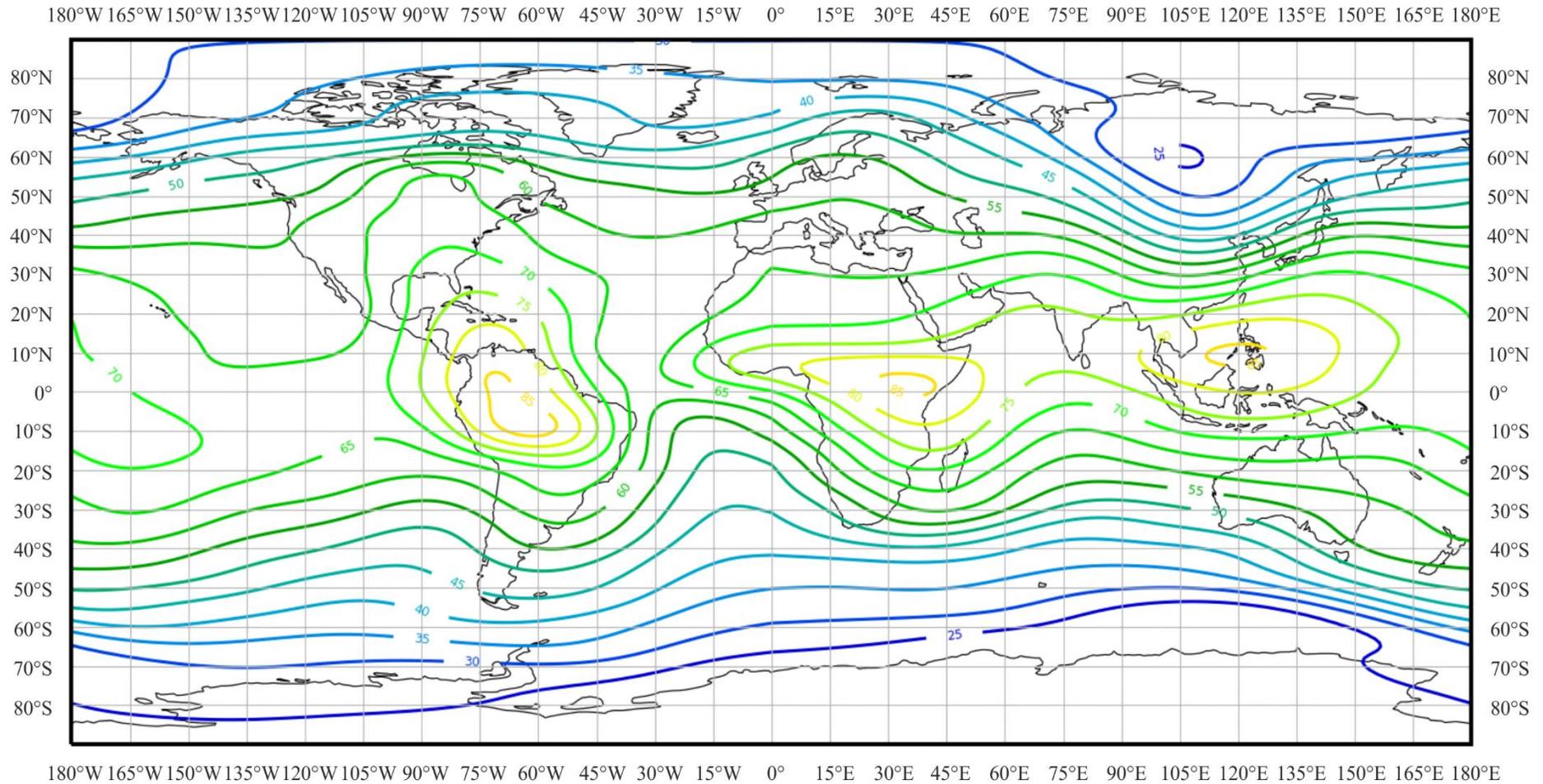


FIGURE 32b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 0400-0800 heure locale)

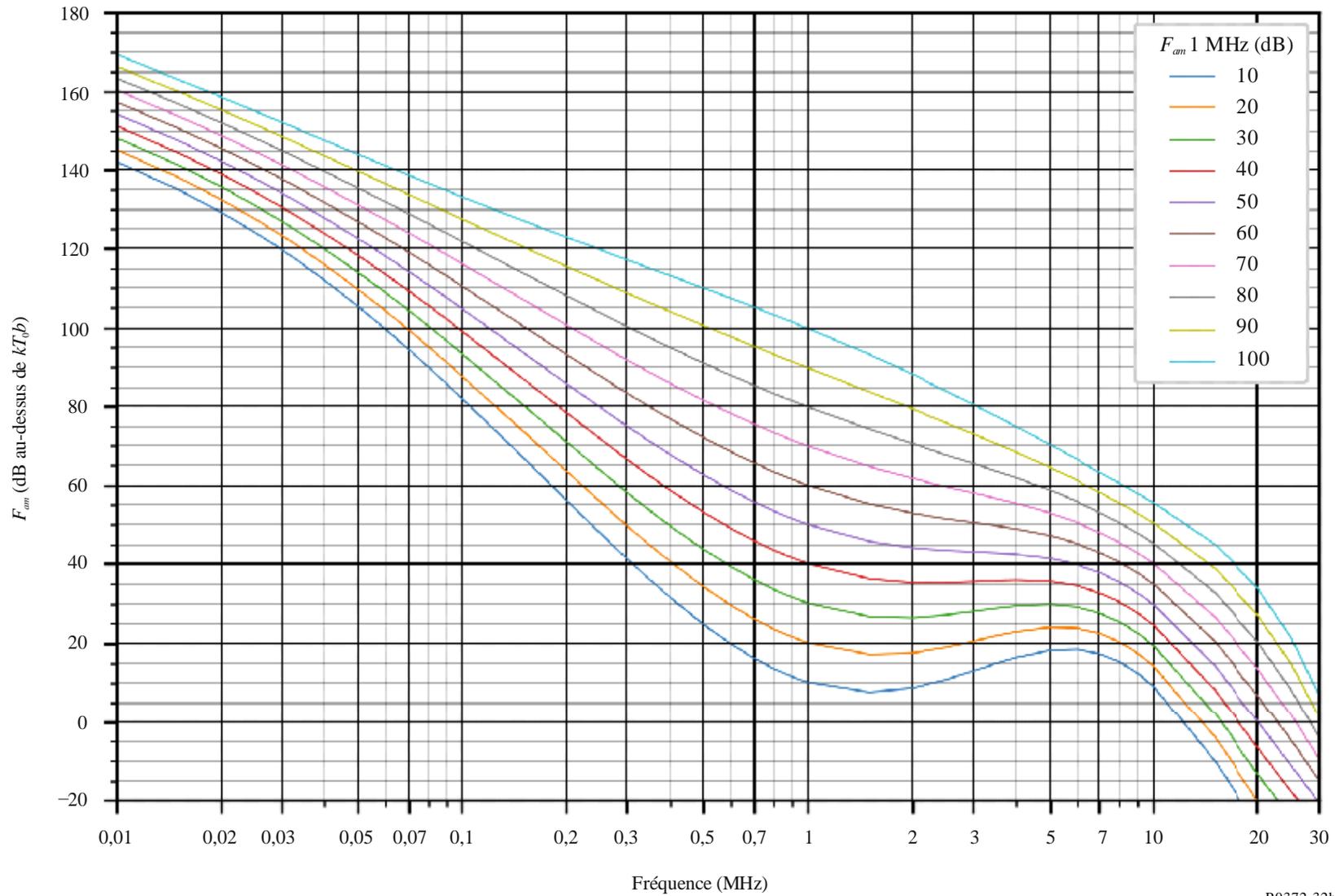


FIGURE 32c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 0400-0800 heure locale)

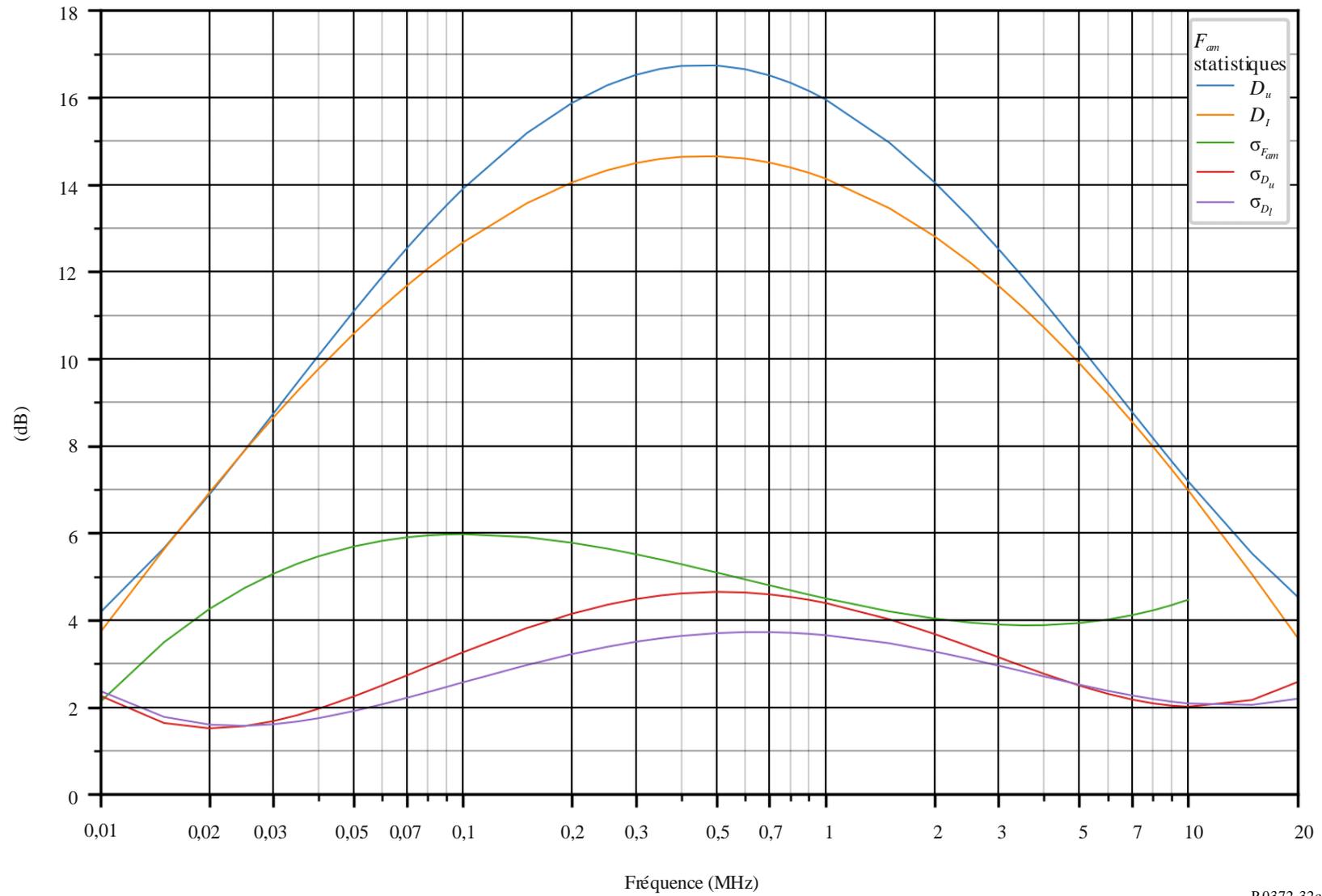


FIGURE 33a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Septembre-Octobre-Novembre; 0800-1200 heure locale)

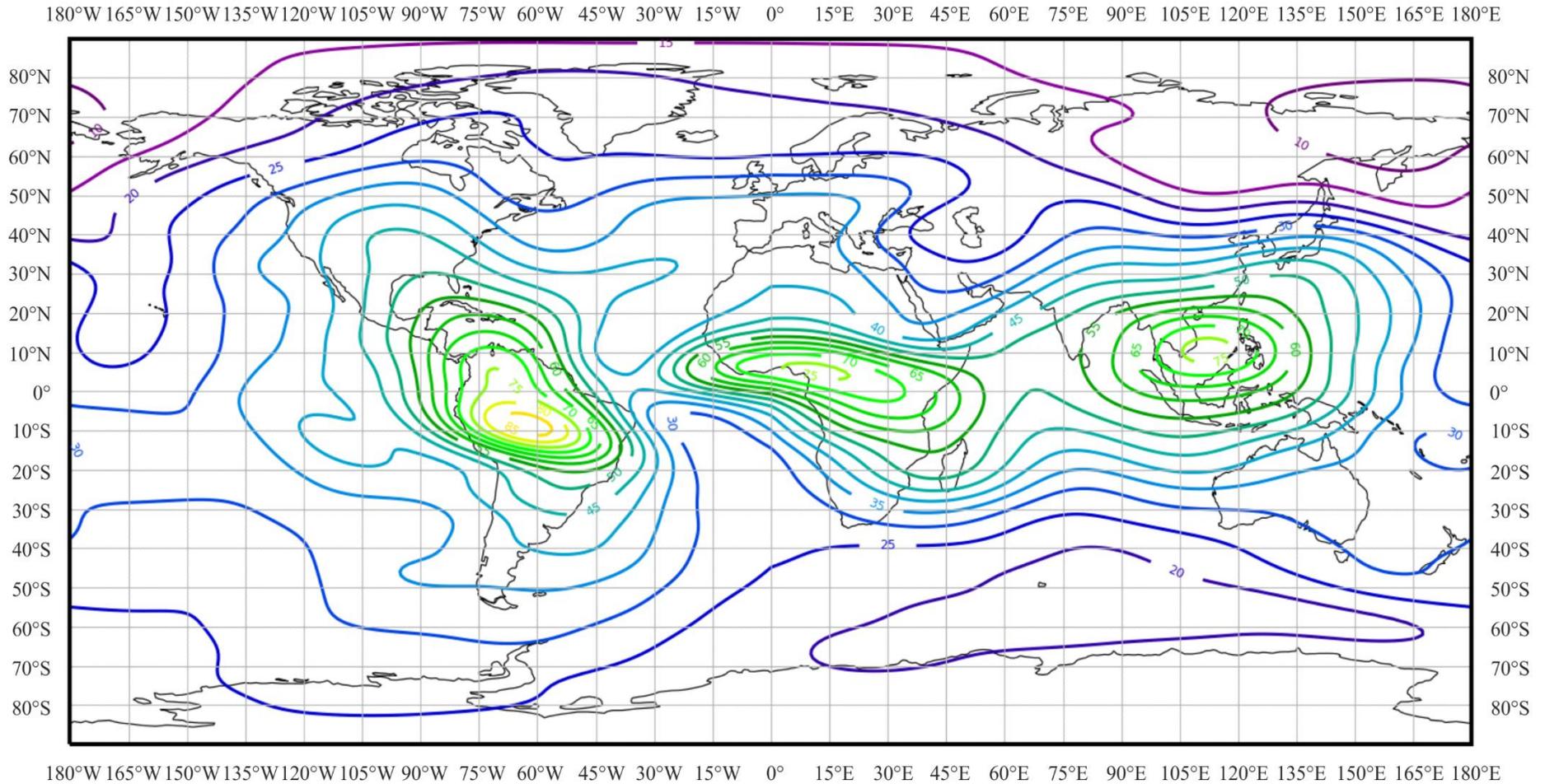


FIGURE 33b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 0800-1200 heure locale)

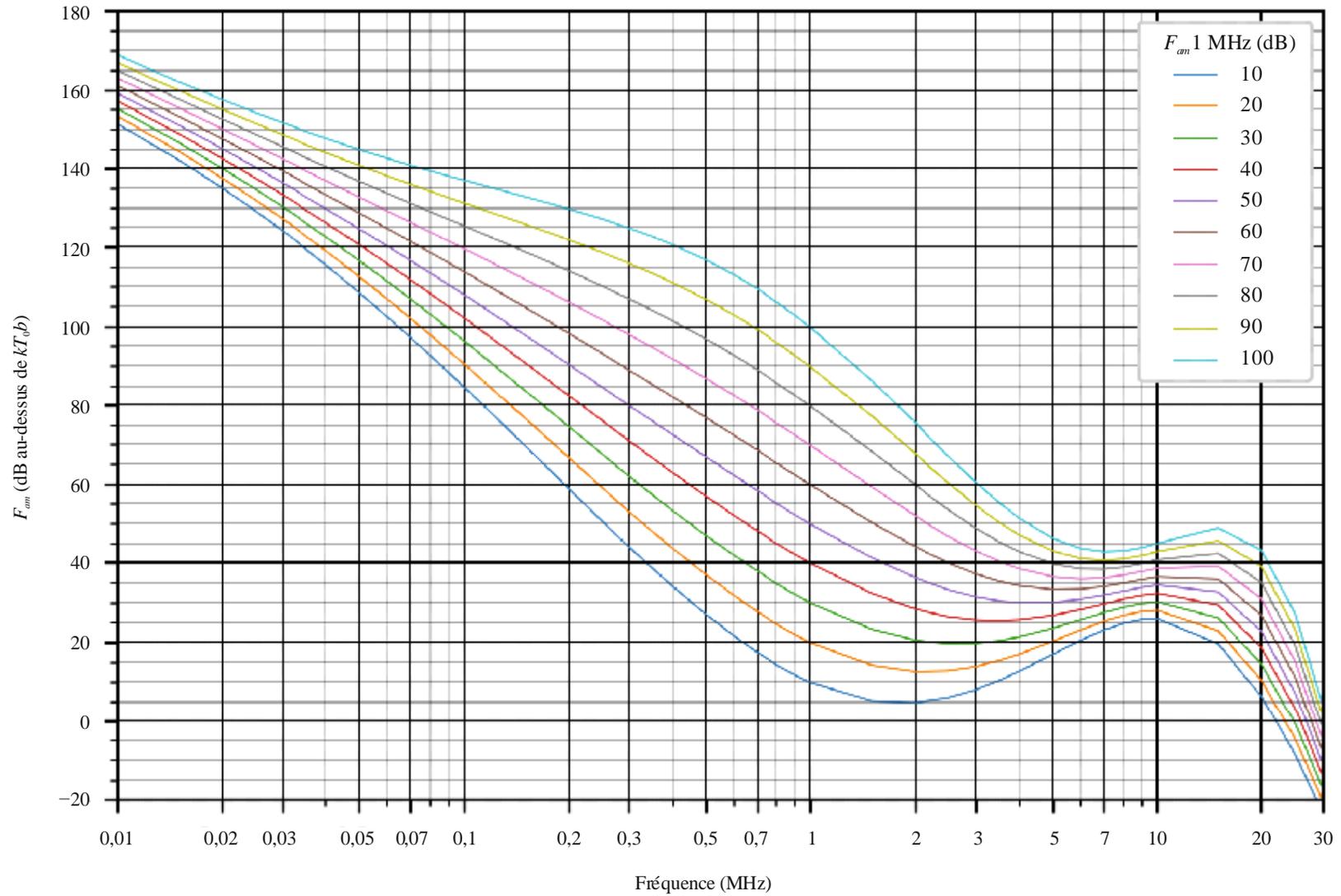


FIGURE 33c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 0800-1200 heure locale)

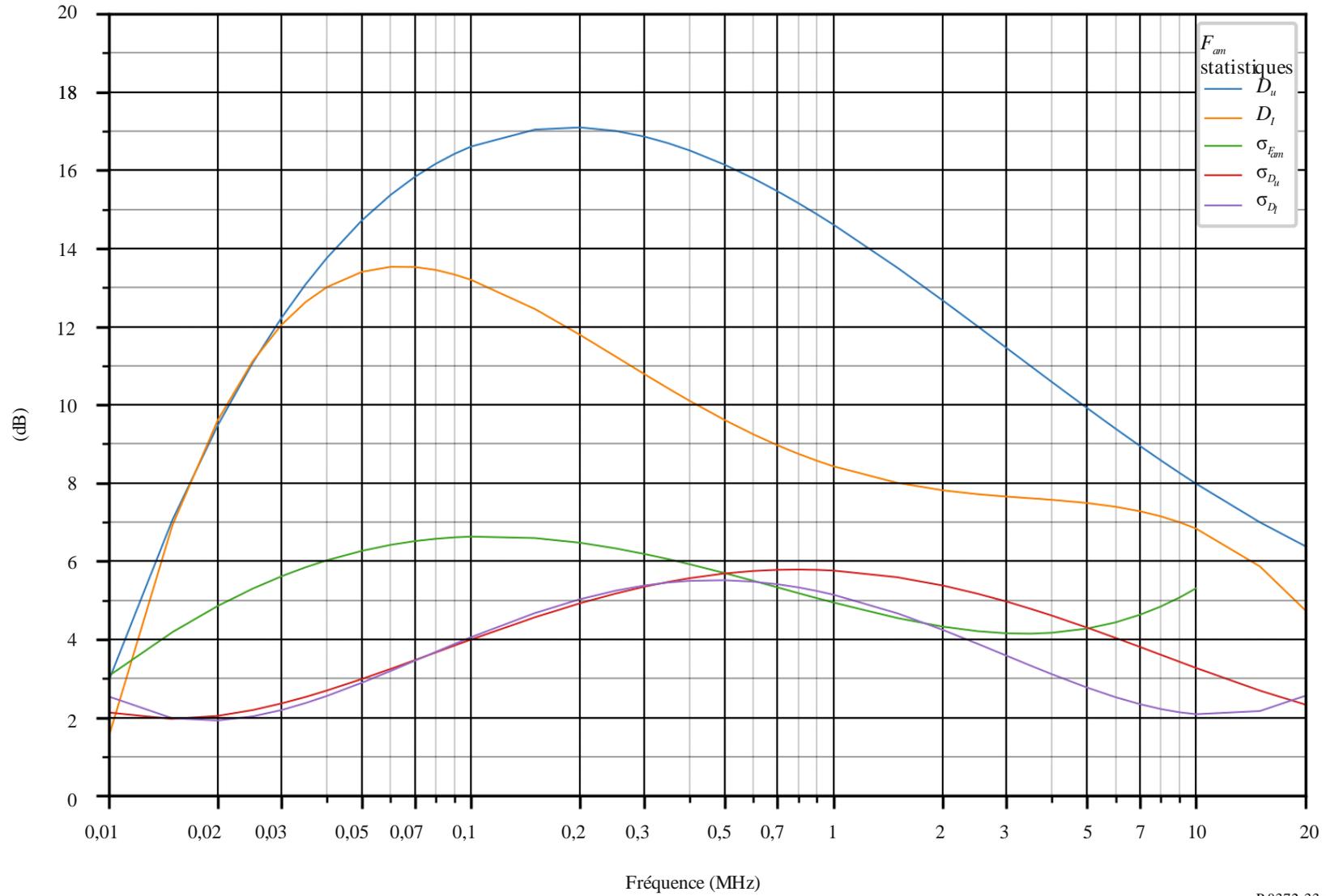


FIGURE 34a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Septembre-Octobre-Novembre; 1200-1600 heure locale)

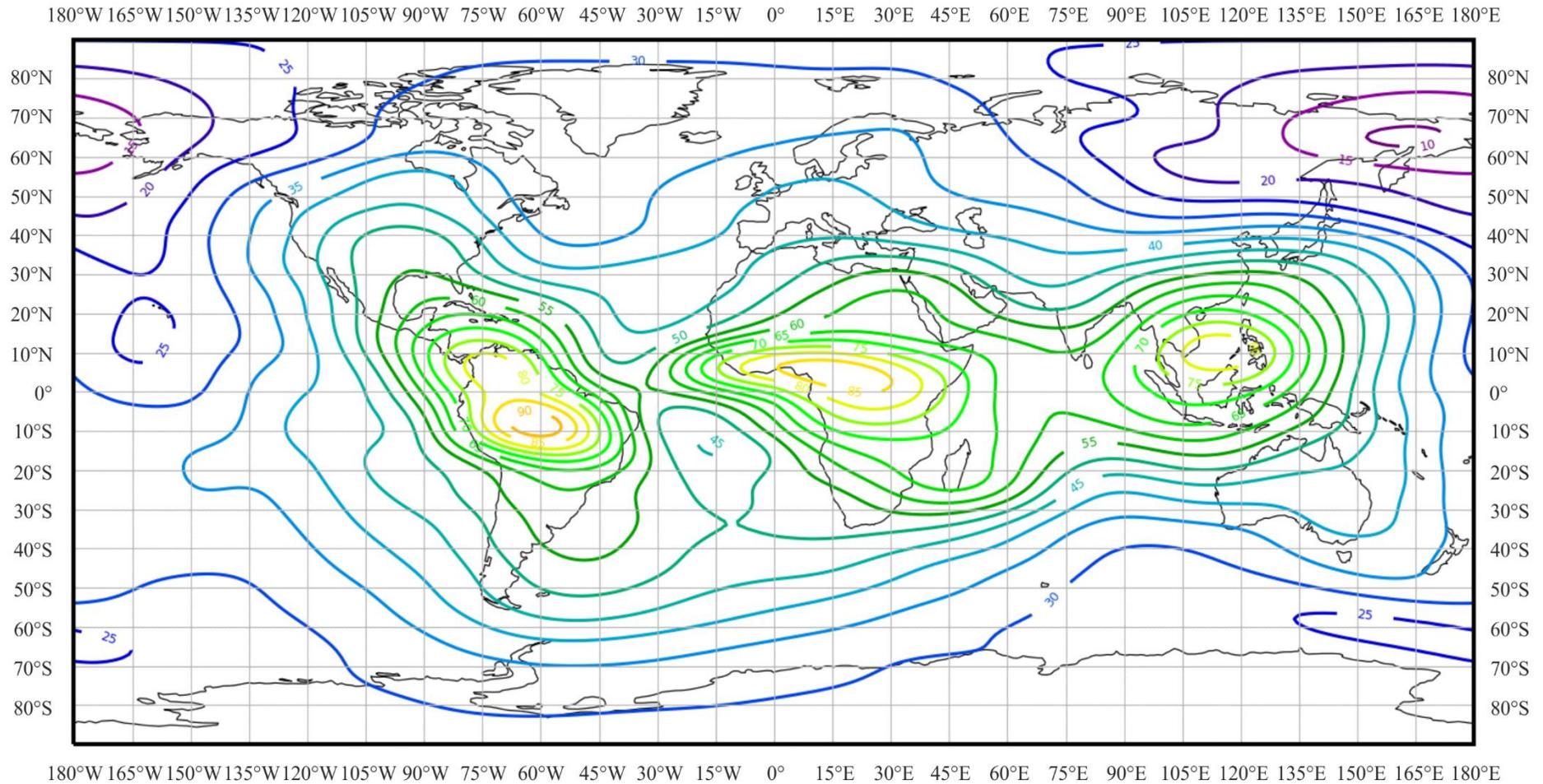


FIGURE 34b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 1200-1600 heure locale)

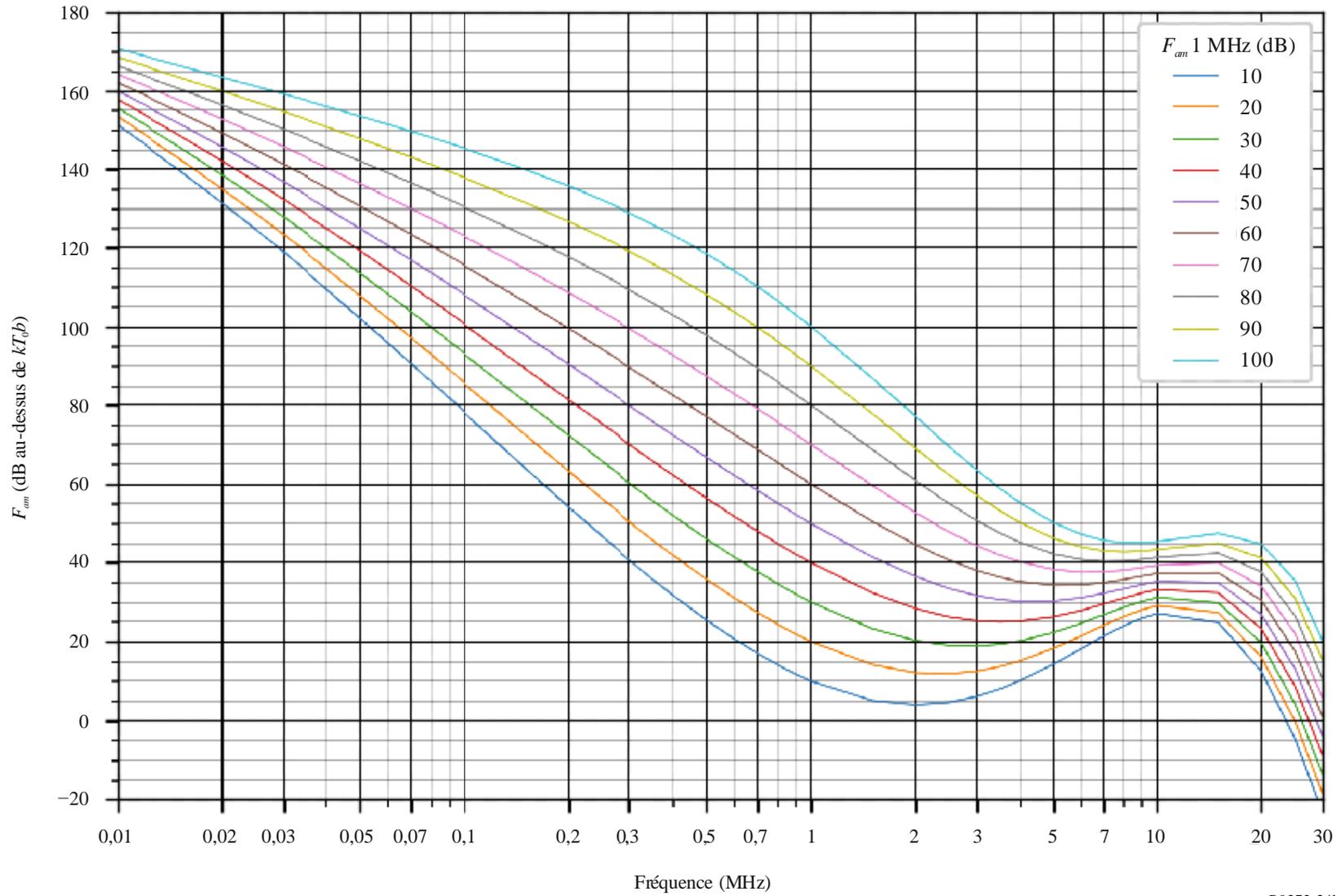


FIGURE 34c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
(Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 1200-1600 heure locale)

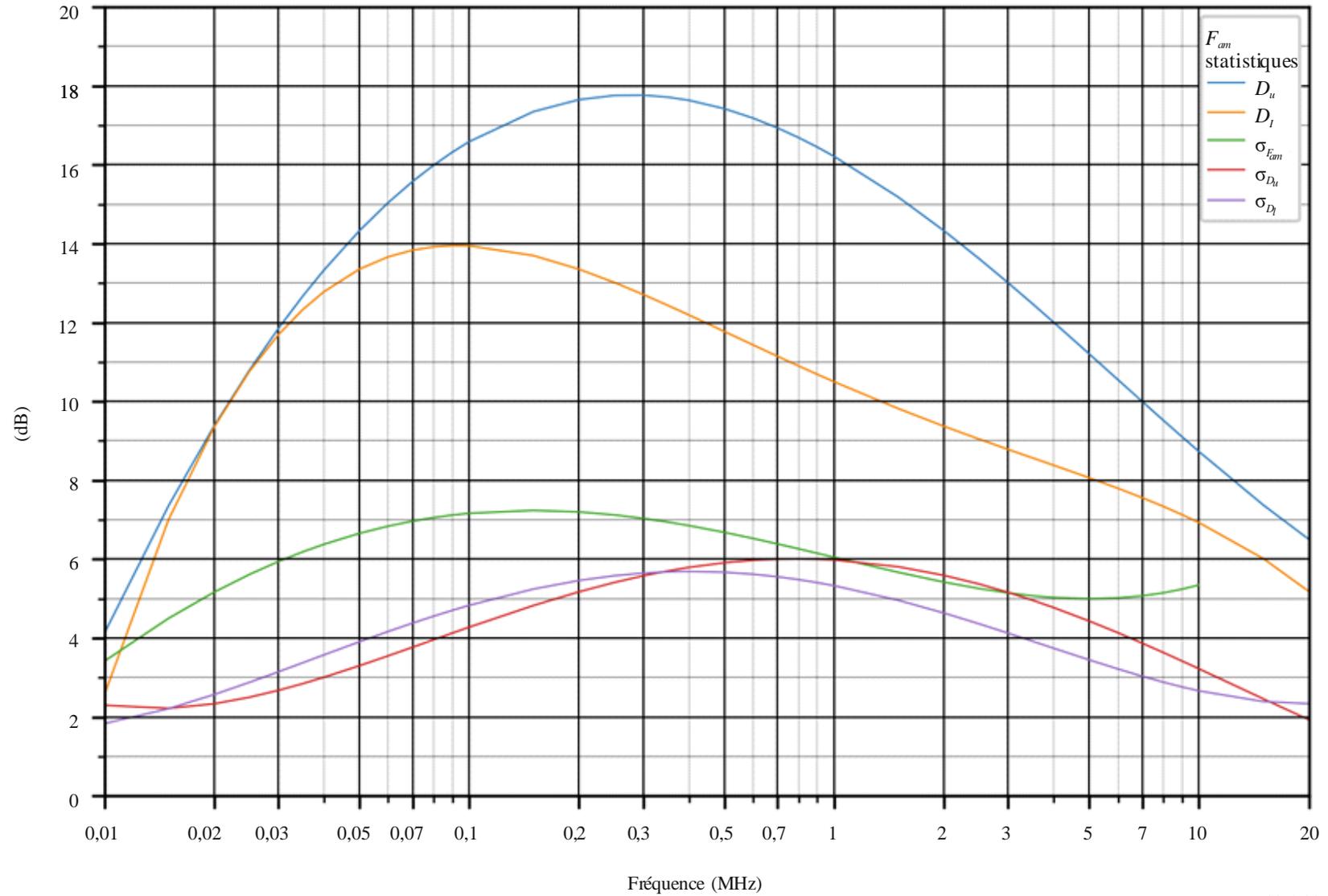


FIGURE 35a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
(Septembre-Octobre-Novembre; 1600-2000 heure locale)

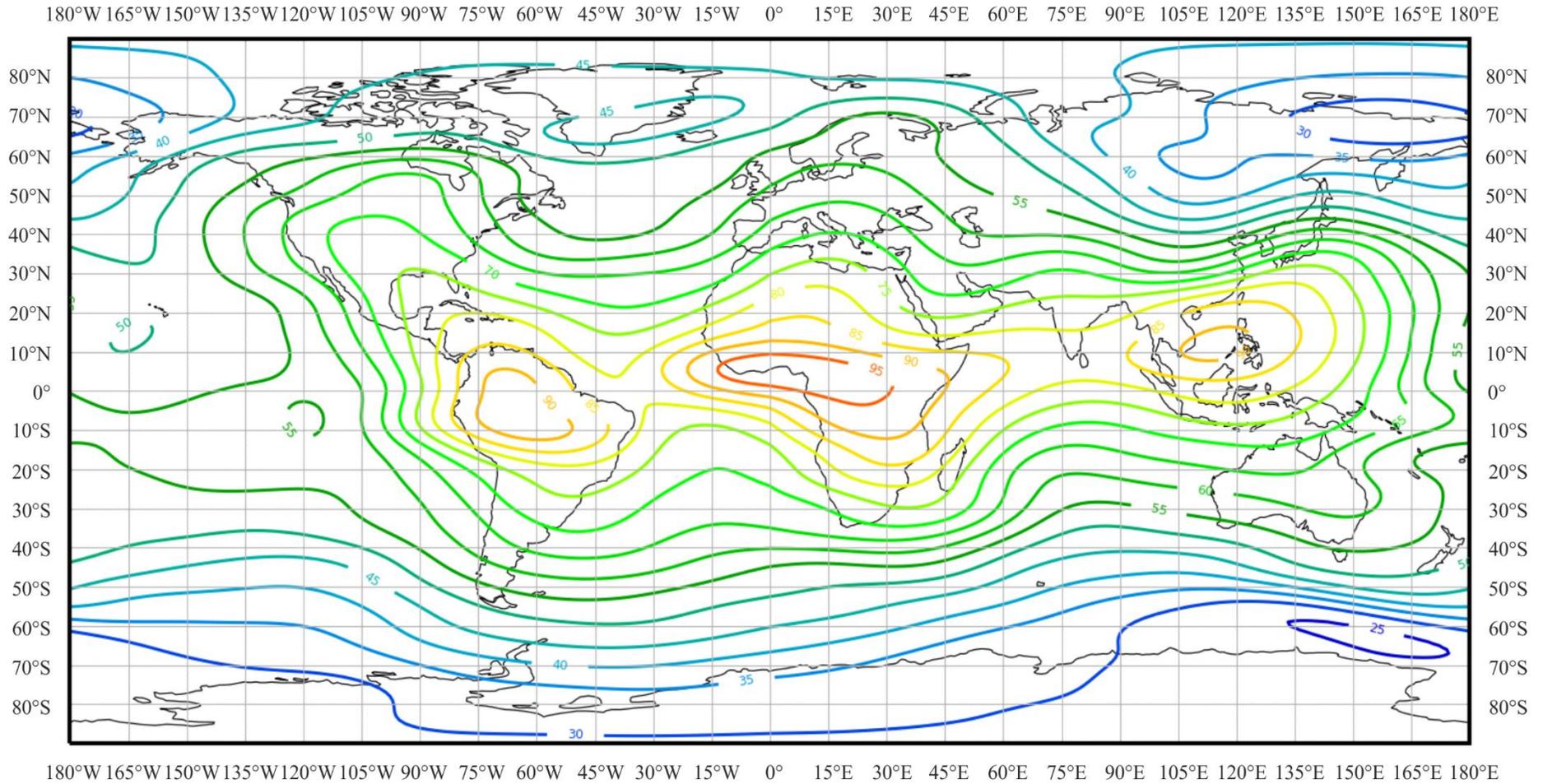


FIGURE 35b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
(Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 1600-2000 heure locale)

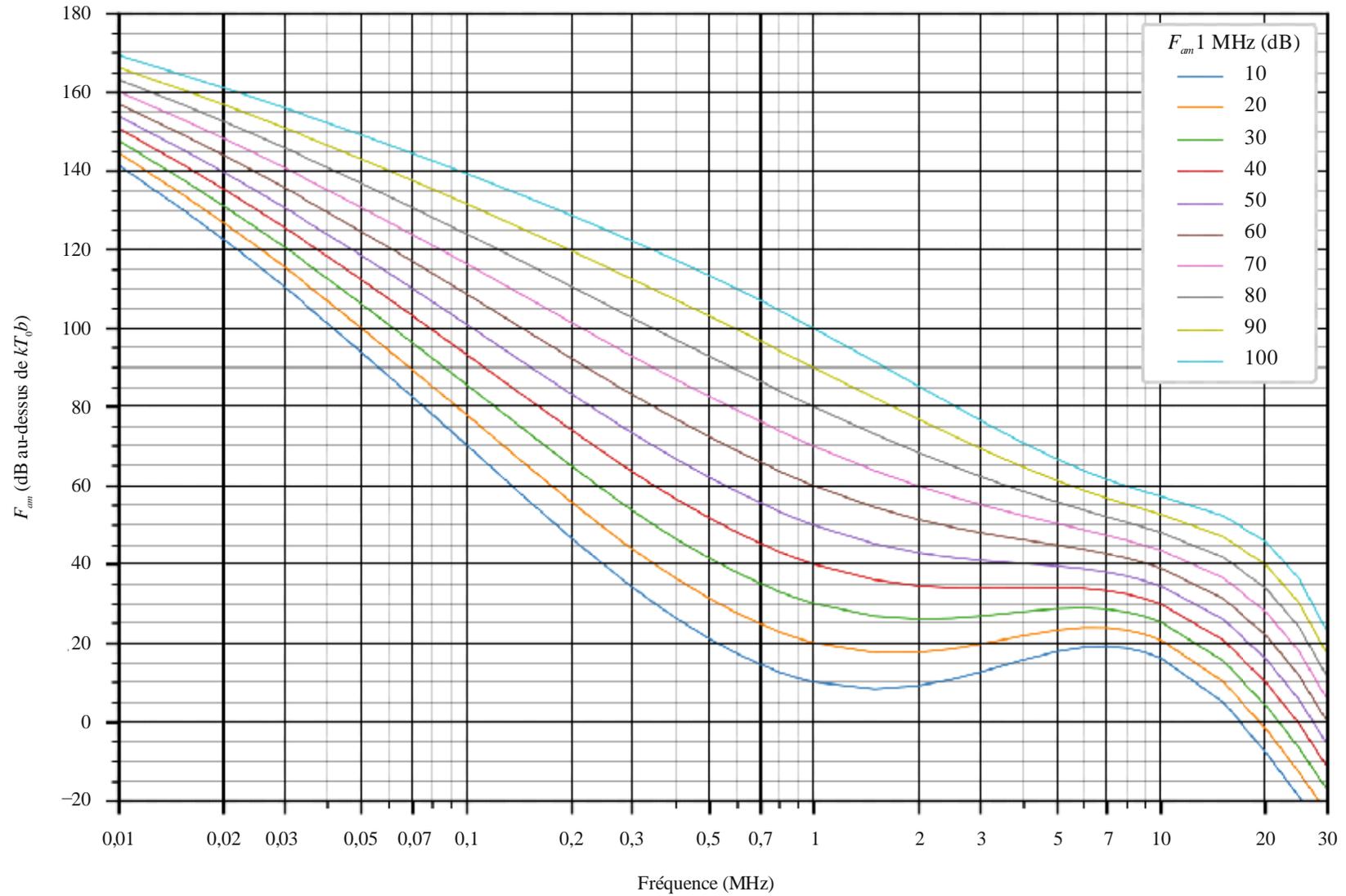


FIGURE 35c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 1600-2000 heure locale)

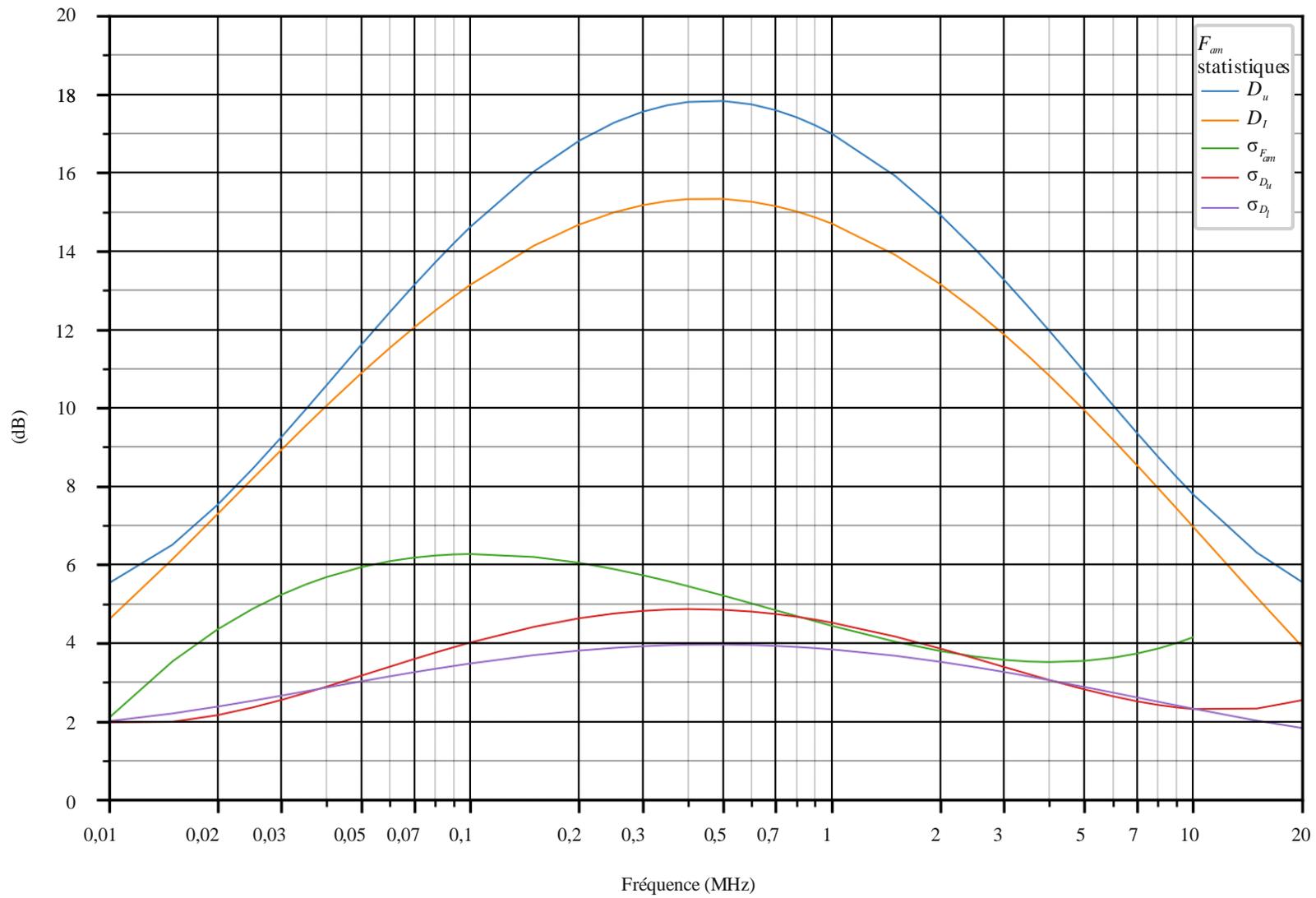


FIGURE 36a

Valeurs attendues du bruit atmosphérique radioélectrique,  $F_{am}$  en dB au-dessus de  $kT_0b$  à 1 MHz)  
 (Septembre-Octobre-Novembre; 2000-2400 heure locale)

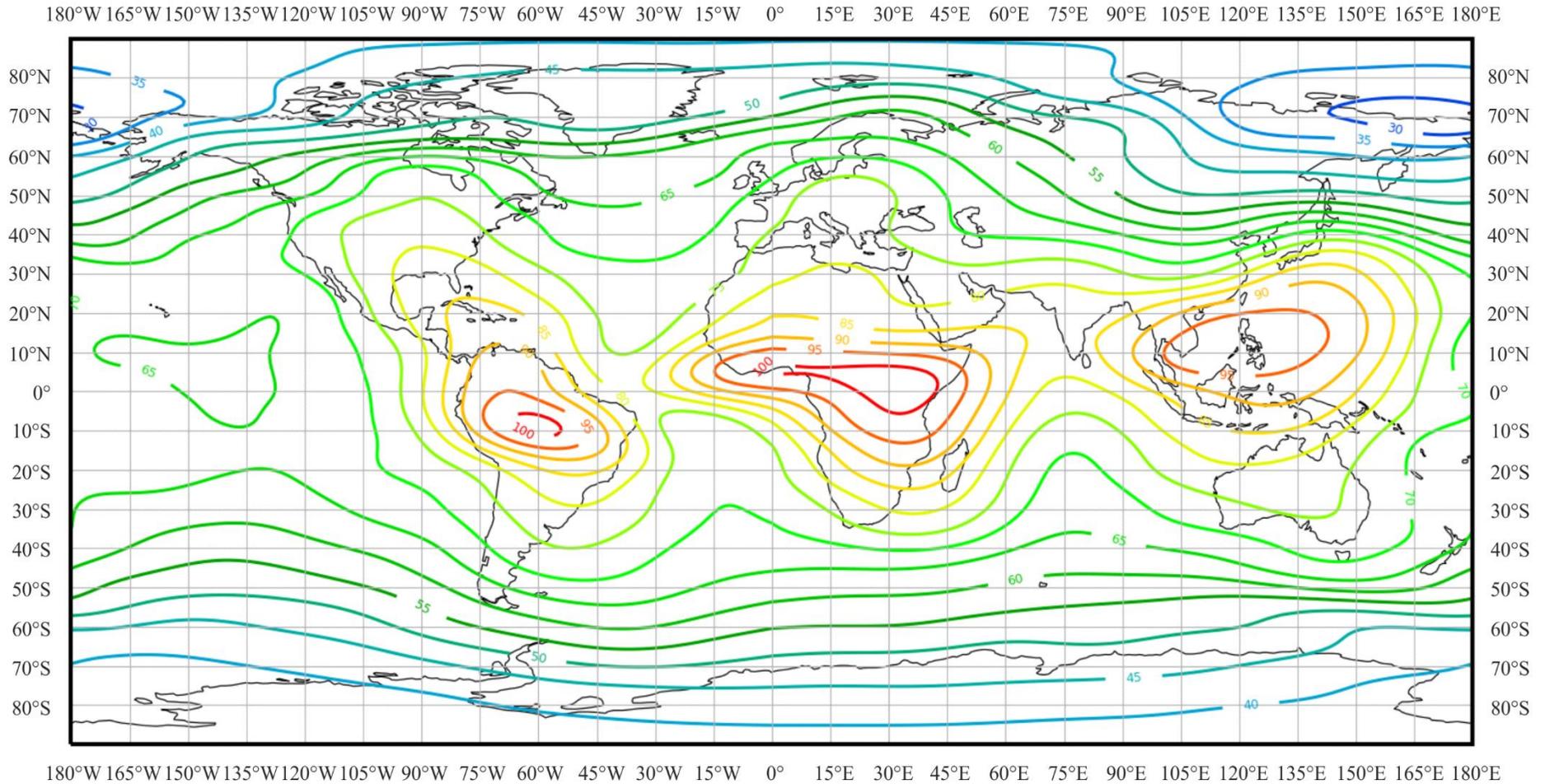


FIGURE 36b

Variation du bruit radioélectrique en fonction de la fréquence  
 (Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 2000-2400 heure locale)

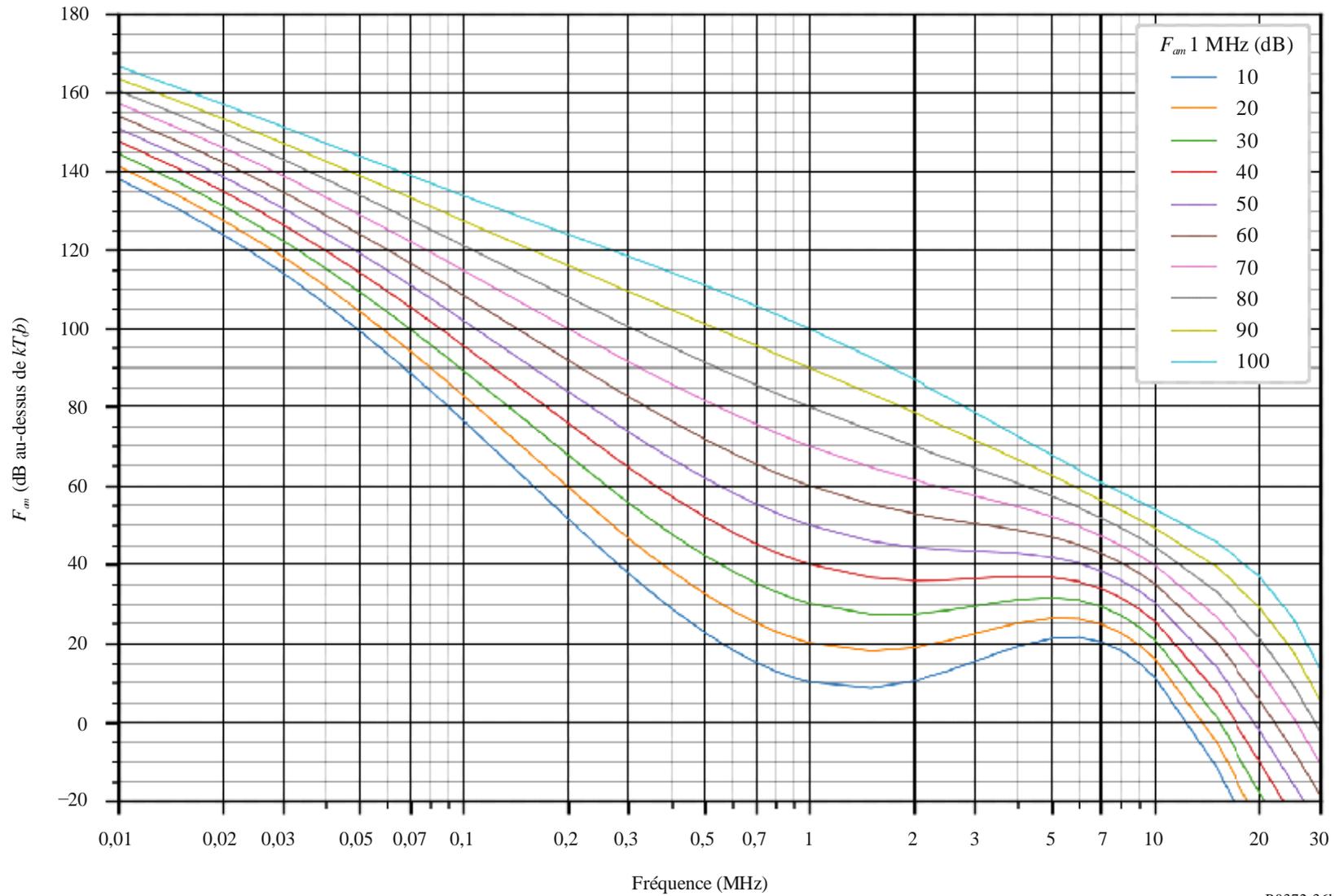


FIGURE 36c

Données sur la variabilité et le caractère du bruit  
 (Hémisphère nord: Septembre-Octobre-Novembre; Hémisphère sud: Mars-Avril-Mai; 2000-2400 heure locale)

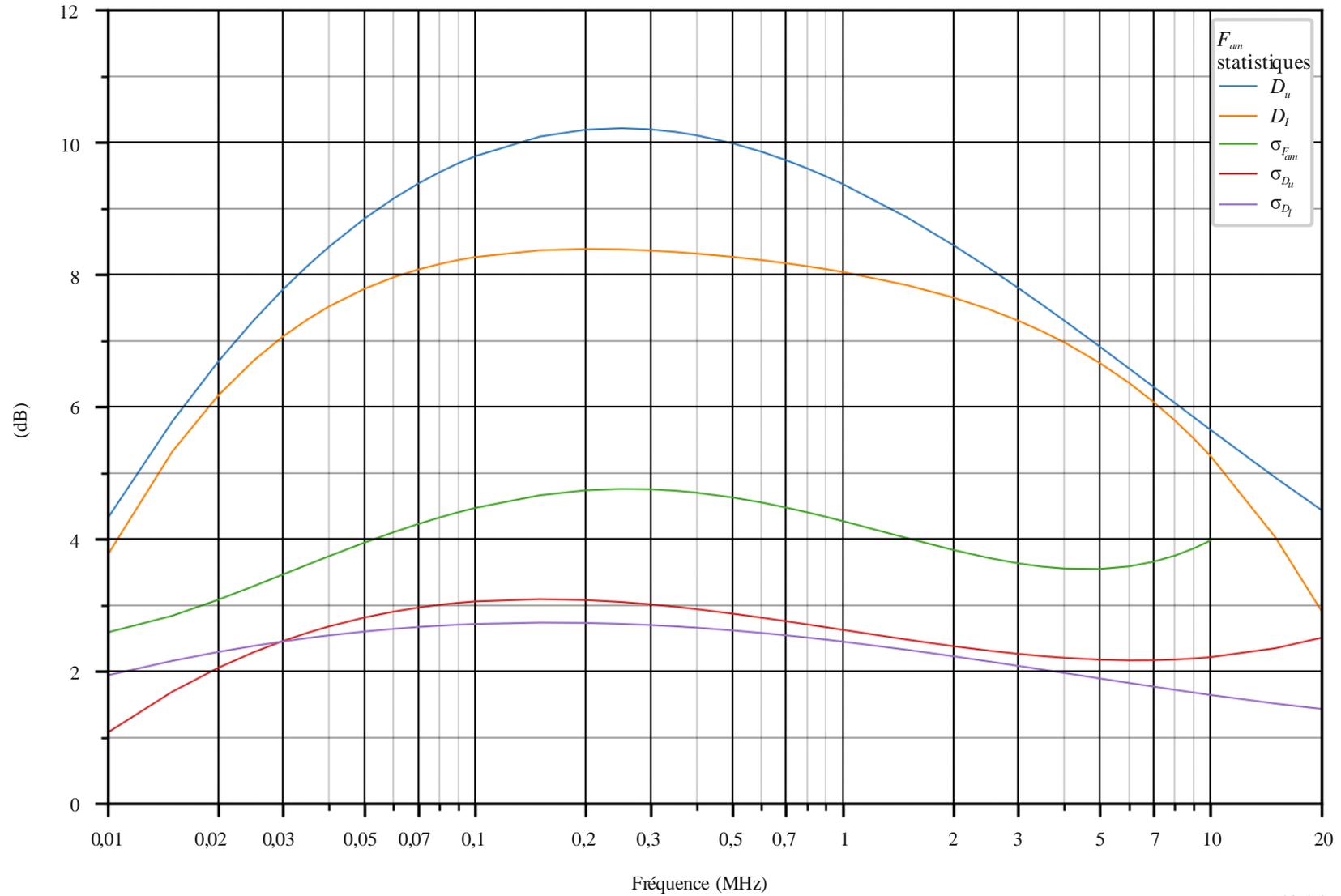


FIGURE 37  
 Distributions de probabilité d'amplitude du bruit atmosphérique radioélectrique  
 pour différentes valeurs de  $V_d$

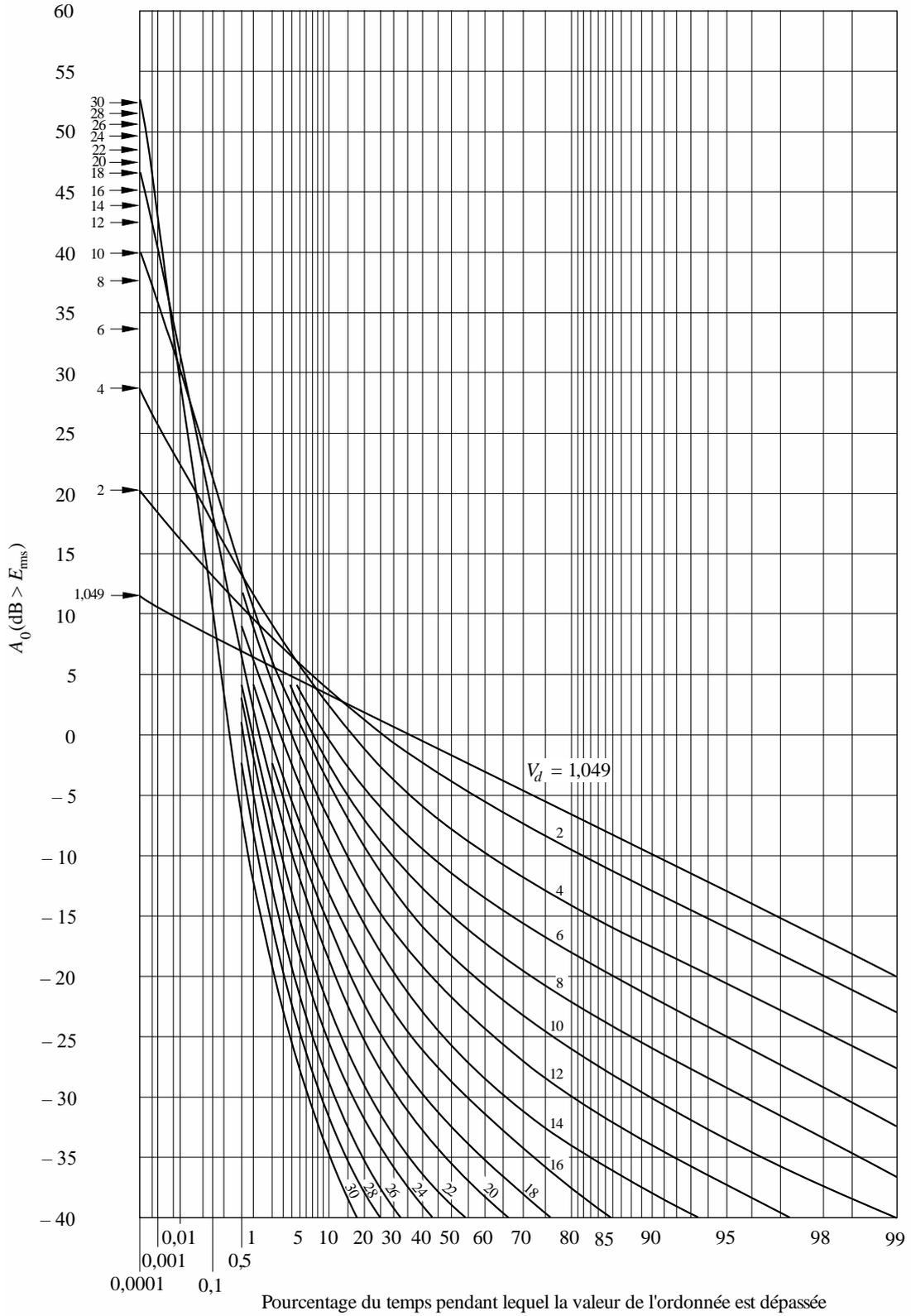
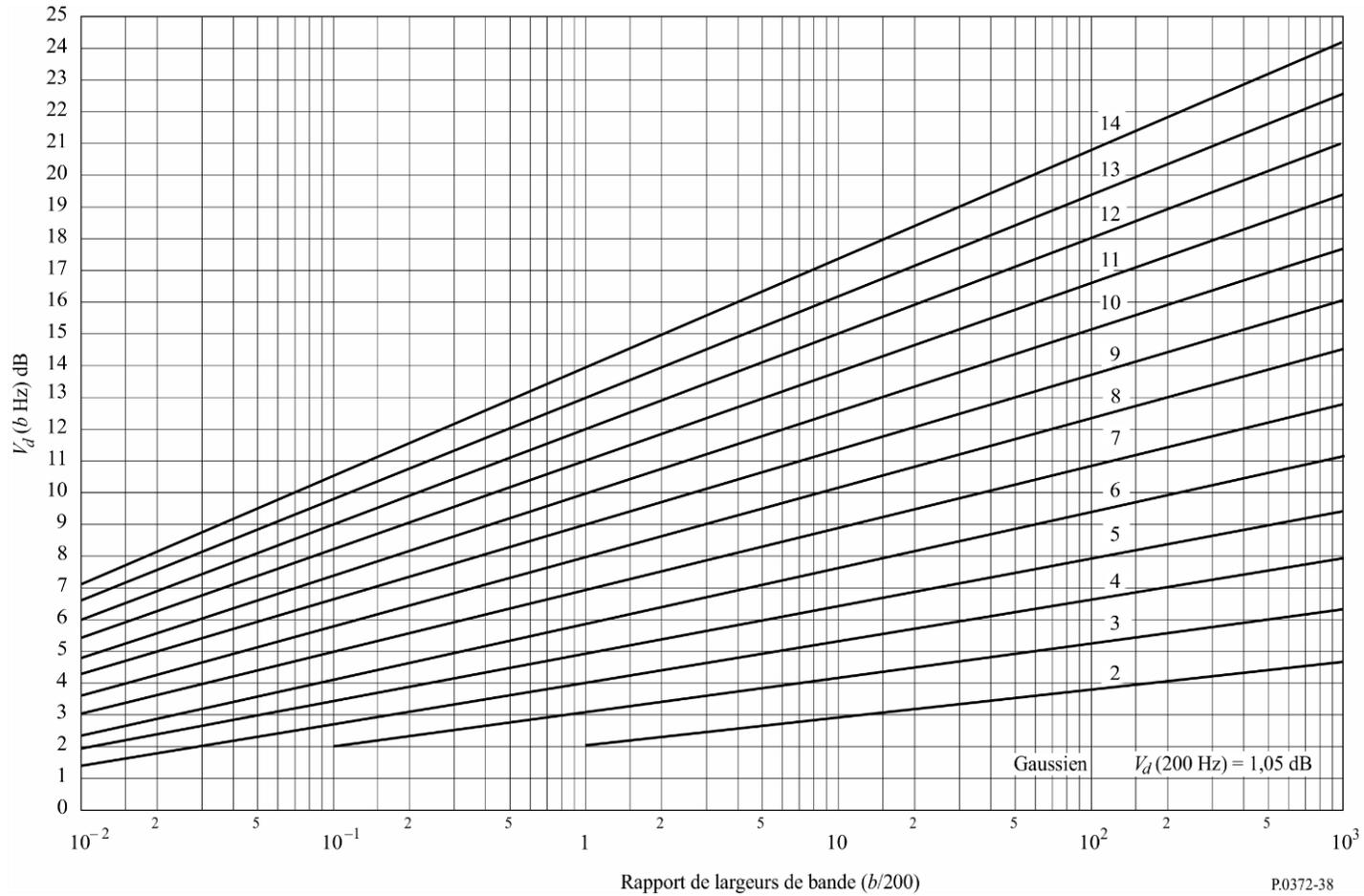


FIGURE 38

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



## PARTIE 6

**Bruit artificiel**

Le bruit artificiel peut appartenir à l'une des catégories suivantes:

- Bruit à large bande dont la densité spectrale de puissance est plus ou moins plate sur une large gamme de fréquences, avec des caractéristiques proches du bruit blanc gaussien additif (AWGN – *Additive White Gaussian Noise*).
- Bruit impulsif (IN – *Impulsive Noise*).
- Bruit dont le caractère dépend de la fréquence et qui consiste en une porteuse unique, une «bosse» de bruit dans le spectre des fréquences, ou une combinaison de plusieurs porteuses et/ou bosses. À défaut d'un meilleur nom, ce type de bruit est traditionnellement désigné par l'expression «bruit dû à une seule porteuse» (SCN – *Single Carrier Noise*).

Le bruit artificiel observé peut également consister en une combinaison de ces trois catégories. La prédominance d'une catégorie dépend de l'intensité des sources et de leur distance par rapport à l'observateur.

Le bruit artificiel AWGN peut être observé lorsqu'un grand nombre de sources individuelles d'intensité comparable et à une distance suffisante du récepteur s'additionnent. Le bruit artificiel SCN indique la présence d'une seule source à proximité, ou d'un nombre limité d'entre elles. Si le premier cas est plus probable dans un scénario à l'extérieur, le second est typique d'un environnement sonore à l'intérieur.

On trouvera dans la Recommandation UIT-R SM.1753 (extérieur) et la Recommandation UIT-R SM.2093 (intérieur) les méthodes de mesure et de représentation du bruit artificiel.

**6.1 Bruit artificiel en extérieur****6.1.1 Bruit blanc gaussien additif (AWGN)**

Les valeurs médianes du facteur de bruit artificiel AWGN pour un certain nombre d'environnements extérieurs types sont indiquées à la Fig. 39. La Figure donne par ailleurs une courbe du bruit galactique (voir la Partie 4).

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

$$F_{am} = c - d \log f \quad (17)$$

$f$  étant exprimé en MHz,  $c$  et  $d$  prennent les valeurs indiquées dans le Tableau 1. Il convient de noter que l'équation (17) 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. Le bruit artificiel réfléchi par l'ionosphère (courbe D) est observé en dessous de la fréquence critique de l'ionosphère pour les ondes extraordinaires ( $f_xF2$ ), qui dépend de l'heure du jour, de la saison et du cycle des taches solaires. Au-dessus de  $f_xF2$ , l'ionosphère devient progressivement transparente et le bruit galactique devient dominant (courbe E). Bien que les ionosondes n'enregistrent pas  $f_xF2$ , une approximation de  $f_xF2$  dans des conditions ionosphériques stables est l'indice  $f_xI$  de propagation F, qui est la réflexion maximale F de la région enregistrée par une ionosonde pendant une mesure.

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.

TABLEAU 1  
Valeurs des constantes  $c$  et  $d$

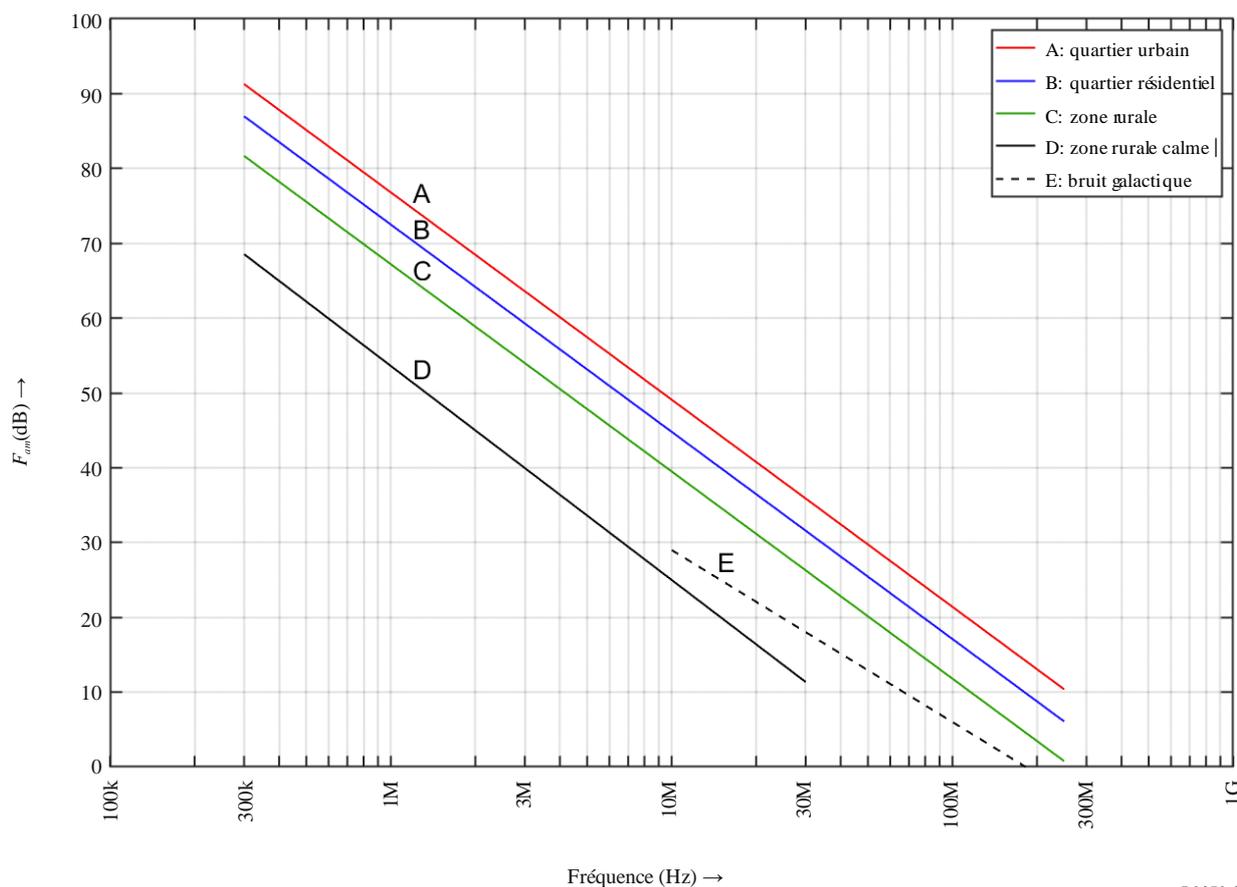
Catégorie d'environnement	$c$	$d$
Quartier urbain (courbe A)	76,8	27,7
Quartier résidentiel (courbe B)	72,5	27,7
Zone rurale (courbe C)	67,2	27,7
Zone rurale calme (courbe D)	53,6	28,6
Bruit galactique (courbe E)	52,0	23,0

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)
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

FIGURE 39

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



P0372-39

## 6.2 Bruit artificiel en intérieur

### 6.2.1 Bruit blanc gaussien additif (AWGN)

À l'heure actuelle, les données de mesure disponibles sont insuffisantes pour décrire les niveaux attendus du bruit artificiel AWGN en intérieur. Cette section sera mise à jour lorsque de telles données seront disponibles. Le Tableau 3 présente les mesures effectuées en Europe entre 2005 et 2007.

TABLEAU 3

Mesures du bruit artificiel effectuées à l'intérieur en Europe

Fréquence (MHz)	Valeur médiane de bruit $F_a$ (dB rel $kT_0b$ )		Écart pour le décile supérieur		Écart 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

## PARTIE 7

**Combinaison de bruits provenant de plusieurs sources****7.1 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'amplitude comparable. Cela peut être vrai à n'importe quelle fréquence en général mais on observe le plus souvent ce phénomène dans les ondes décimétriques 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 facteurs de bruit pour chacune des sources de bruit définies ci-dessus,  $F_a$ , (dB) sont supposés 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,  $\sigma_l = D_l/1,282$ , au-dessous de la médiane et la distribution semi-normale supérieure a un écart type,  $\sigma_u = D_u/1,282$ , 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,  $\sigma_T$ , du facteur de bruit pour la somme de deux processus de bruit ou plus sont donnés par les équations suivantes:

$$F_{amT} = c \left[ \ln(\alpha_T) - \frac{\sigma_T^2}{2c^2} \right] \quad \text{dB} \quad (18)$$

$$\sigma_T = c \sqrt{\ln \left( 1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T^2} \right)} \quad \text{dB} \quad (19)$$

où:

$$c = 10/\ln(10) = 4,343 \quad (20)$$

$$\alpha_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \exp \left[ \frac{F_{ami}}{c} + \frac{\sigma_i^2}{2c^2} \right] \quad \text{W} \quad (21)$$

$$\beta_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \left[ \exp \left( \frac{\sigma_i^2}{c^2} \right) - 1 \right] \quad \text{W}^2 \quad (22)$$

et  $F_{ami}$  et  $\sigma_i$  sont la médiane et l'écart type des facteurs de bruit pour les différentes sources de bruit. Pour le bruit atmosphérique, ces valeurs sont extraites des Figs 13 à 36. Le bruit artificiel peut également être extrait de la Fig. 10 et du Tableau 2. Pour le bruit galactique,  $F_{am}$  est donné par l'équation (15) et  $\sigma_i$  est mis à 1,56 dB (= 2/1,282).

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:

$$D_{uT} = 1,282 \sigma_T \quad \text{dB} \quad (23)$$

où  $\sigma_T$  est calculé en utilisant les écarts du décile supérieur des composantes de bruit pour calculer  $\sigma_i$  (=  $D_u/1,282$ ) dans les équations (21) et (22).

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

$$D_{IT} = 1,282 \sigma_T \quad \text{dB} \quad (24)$$

où  $\sigma_T$  est calculé en utilisant les écarts du décile inférieur des composantes de bruit pour calculer  $\sigma_i$  ( $= D_i/1,282$ ) dans les équations (21) et (22).

Lorsqu'un écart pour le décile supérieur de la valeur de bruit pour au moins une composante de bruit dépasse 12 dB, l'écart  $\sigma_T$  calculé par les équations (19) à (22), en utilisant les écarts du décile supérieur des composantes de bruit, devrait être limité à une valeur maximale de:

$$\sigma_T = c \sqrt{2 \ln \left( \frac{\alpha_T}{\gamma_T} \right)} \quad \text{dB} \quad (25)$$

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

$$\gamma_T = \sum_{i=1}^n \exp \left( \frac{F_{ami}}{c} \right) \quad \text{W} \quad (26)$$

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  $\sigma_T$  calculé par les équations (19) à (22), en utilisant les écarts du décile inférieur des composantes de bruit, devrait être limité à la valeur maximale indiquée par l'équation (25).

---