

## RECOMMANDATION UIT-R P.840-3

## AFFAIBLISSEMENT DÛ AUX NUAGES ET AU BROUILLARD

(Question UIT-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) le besoin de fournir des indications aux ingénieurs chargés de concevoir des systèmes de télécommunication Terre-espace à des fréquences supérieures à 10 GHz;
- b) que l'affaiblissement dû aux nuages peut constituer un facteur important, s'agissant en particulier de systèmes de fréquences très supérieures à 10 GHz ou de systèmes à faible disponibilité,

*recommande*

- 1** que les courbes, les méthodes et les cartes figurant à l'Annexe 1 soient utilisées pour calculer l'affaiblissement dû aux nuages et au brouillard.

## ANNEXE 1

**1 Introduction**

Dans le cas de nuages ou de brouillard composés entièrement de gouttelettes minuscules, d'un diamètre généralement inférieur à 0,01 cm, l'approximation de Rayleigh est valable pour les fréquences inférieures à 200 GHz, et l'on peut exprimer l'affaiblissement en fonction du contenu total en eau par unité de volume. L'affaiblissement linéique dans de tels nuages ou un tel brouillard s'exprime alors par la formule:

$$\gamma_c = K_l M \quad \text{dB/km} \quad (1)$$

où:

$\gamma_c$ : affaiblissement linéique (dB/km) à l'intérieur du nuage

$K_l$ : affaiblissement linéique spécifique ((dB/km)/(g/m<sup>3</sup>))

$M$ : concentration en eau liquide dans les nuages ou le brouillard (g/m<sup>3</sup>).

Aux fréquences de l'ordre de 100 GHz et aux fréquences supérieures, l'affaiblissement par le brouillard peut devenir important. La concentration en eau liquide dans le brouillard est typiquement égale à environ 0,05 g/m<sup>3</sup> pour un brouillard modéré (visibilité de l'ordre de 300 m) et de 0,5 g/m<sup>3</sup> pour un brouillard épais (visibilité de l'ordre de 50 m).

**2 Affaiblissement linéique spécifique**

On peut utiliser un modèle mathématique basé sur la diffusion de Rayleigh, qui utilise un modèle de Debye double pour la permittivité diélectrique  $\epsilon(f)$  de l'eau pour calculer la valeur de  $K_l$  pour les fréquences inférieures à 1 000 GHz:

$$K_l = \frac{0,819f}{\epsilon''(1 + \eta^2)} \quad \text{(dB/km)/(g/m}^3\text{)} \quad (2)$$

où  $f$  est la fréquence (GHz) et:

$$\eta = \frac{2 + \epsilon'}{\epsilon''} \quad (3)$$

La permittivité diélectrique complexe de l'eau est donnée par la formule:

$$\varepsilon''(f) = \frac{f(\varepsilon_0 - \varepsilon_1)}{f_p \left[ 1 + (f/f_p)^2 \right]} + \frac{f(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{f_s \left[ 1 + (f/f_s)^2 \right]} \quad (4)$$

$$\varepsilon'(f) = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{\left[ 1 + (f/f_p)^2 \right]} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\left[ 1 + (f/f_s)^2 \right]} + \varepsilon_2 \quad (5)$$

où:

$$\varepsilon_0 = 77,6 + 103,3 (\theta - 1) \quad (6)$$

$$\varepsilon_1 = 5,48 \quad (7)$$

$$\varepsilon_2 = 3,51 \quad (8)$$

$$\theta = 300 / T \quad (9)$$

où  $T$  est la température (K).

Les fréquences de relaxation principale et secondaire sont:

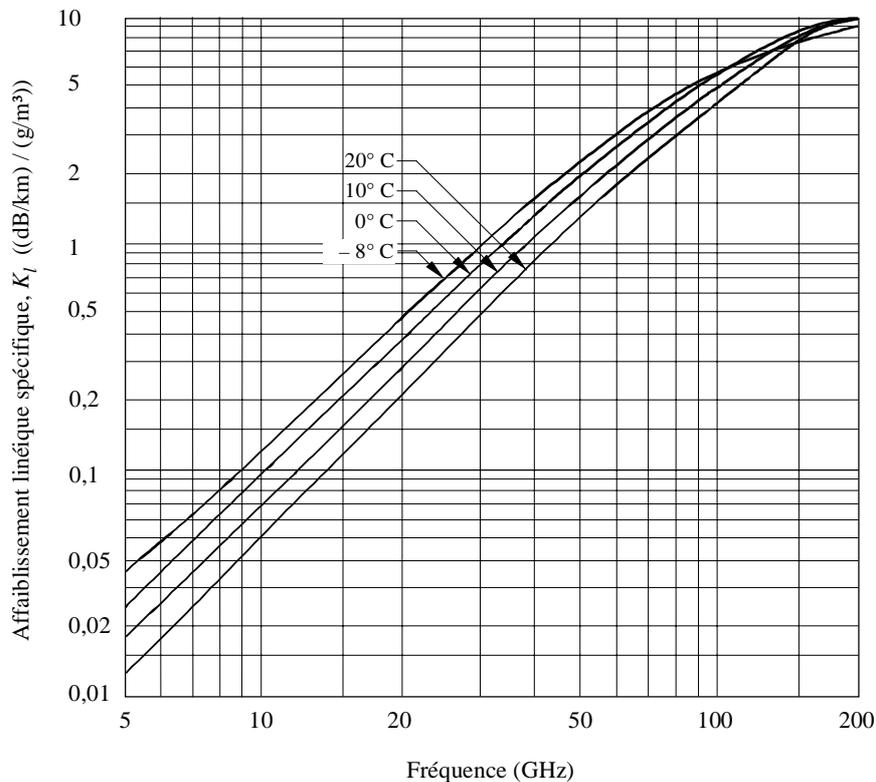
$$f_p = 20,09 - 142 (\theta - 1) + 294 (\theta - 1)^2 \quad \text{GHz} \quad (10)$$

$$f_s = 590 - 1500 (\theta - 1) \quad \text{GHz} \quad (11)$$

La Fig. 1 montre les valeurs de  $K_l$  pour des fréquences comprises entre 5 et 200 GHz et des températures variant de  $-8^\circ\text{C}$  et  $20^\circ\text{C}$ . Pour l'affaiblissement par les nuages, il convient d'utiliser la courbe correspondant à  $0^\circ\text{C}$ .

FIGURE 1

**Affaiblissement linéique dû aux gouttelettes d'eau pour diverses températures en fonction de la fréquence**



### 3 Affaiblissement dû aux nuages

Pour obtenir l'affaiblissement dû aux nuages pour une valeur de probabilité donnée, il faut connaître les statistiques du contenu total d'une colonne en eau liquide  $L$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) ou, de manière équivalente, mm d'eau précipitable pour le site considéré; on a alors:

$$A = \frac{L K_l}{\sin \theta} \quad \text{dB} \quad \text{pour } 90^\circ \geq \theta \geq 5^\circ \quad (12)$$

où  $\theta$  est l'angle d'élévation et  $K_l$  est tiré de la Fig. 1. Il convient de noter que  $K_l$  est identique au coefficient d'absorption massique  $a_L$  introduit dans l'équation (1) de la Recommandation UIT-R P.836.

Les statistiques du contenu total d'une colonne en eau liquide peuvent être obtenues par des mesures radiométriques ou par des lancements de radiosondes.

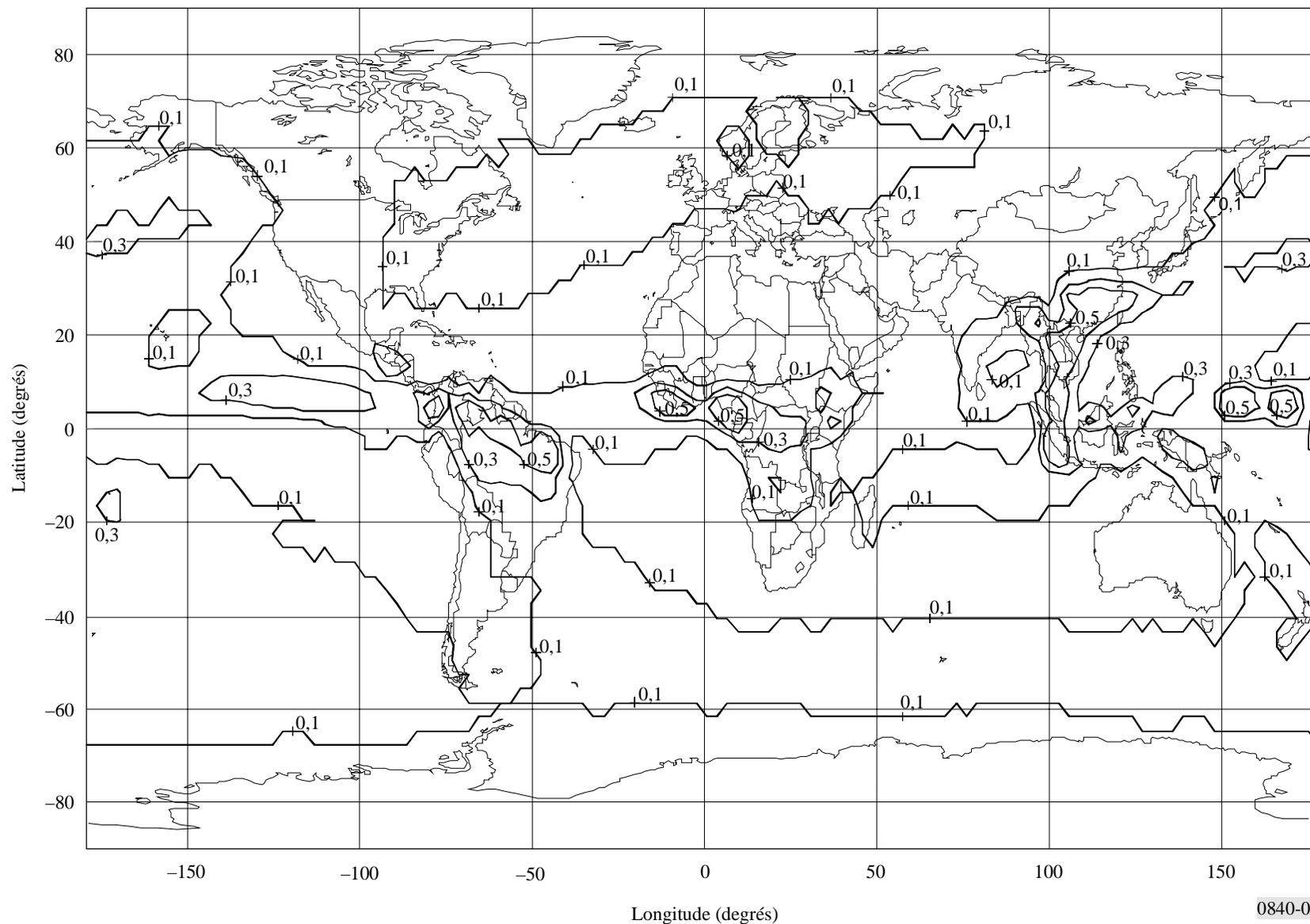
En l'absence de mesures locales, il convient d'utiliser les valeurs du contenu total d'une colonne en eau liquide de nuage (normalisé à  $0^\circ \text{C}$ ) données sur les Fig. 2 à 5 pour calculer l'affaiblissement dû aux nuages.

Les valeurs données sur les Figures sont en  $\text{kg}/\text{m}^2$  et correspondent à quatre niveaux différents de probabilité de dépassement sur une année. Les cartes ont été établies à partir de données recueillies pendant deux ans avec une résolution spatiale de  $1,5^\circ$  en latitude et en longitude. Pour obtenir les fichiers contenant ces données ainsi que des données relatives à d'autres niveaux de probabilité, s'adresser au Bureau des radiocommunications de l'UIT. La grille des fichiers de données couvre une plage comprise entre  $+90^\circ \text{N}$  et  $-90^\circ \text{S}$  par pas de  $1,5^\circ$  pour la latitude et une plage comprise entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$  par pas de  $1,5$  degré pour la longitude.

En tout point différent des points d'intersection de la grille, le contenu total d'une colonne est calculé par interpolation bilinéaire à partir des valeurs aux quatre points de la grille les plus proches.

Pour obtenir la valeur qui est dépassée, dans le cas d'une probabilité différente de celle figurant dans les fichiers de données, on utilisera une interpolation semi-logarithmique (logarithmique sur la probabilité exprimée sous la forme d'un pourcentage et linéaire sur le contenu total d'une colonne).

FIGURE 2  
Contenu total normalisé d'une colonne en eau liquide de nuage (kg/m<sup>2</sup>) dépassé pendant 20% du temps sur une année



0840-02

FIGURE 3

Contenu total normalisé d'une colonne en eau liquide de nuage (kg/m<sup>2</sup>) dépassé pendant 10% du temps sur une année

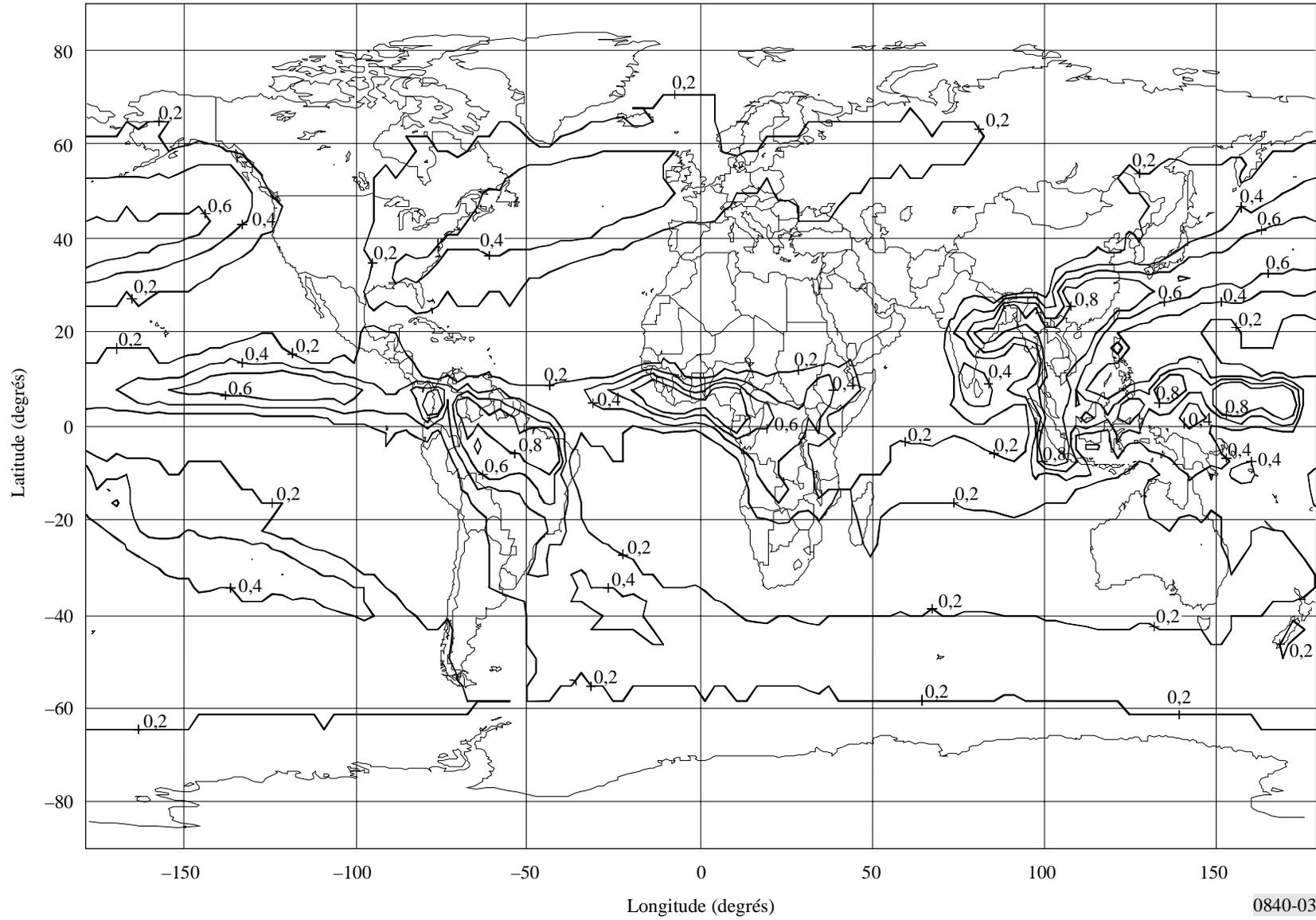


FIGURE 4  
Contenu total normalisé d'une colonne en eau liquide de nuage (kg/m<sup>2</sup>) dépassé pendant 5% du temps sur une année

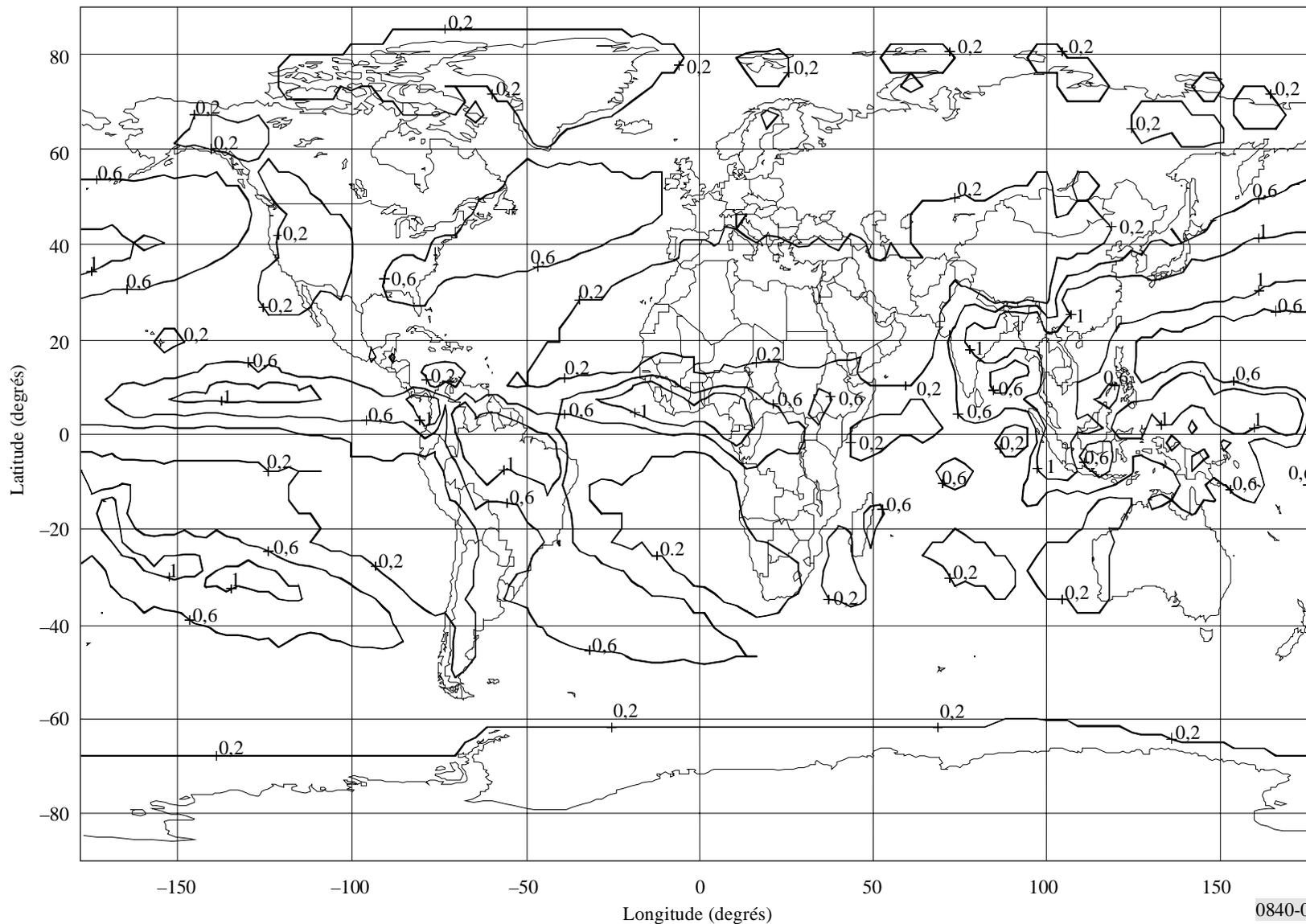


FIGURE 5

Contenu total normalisé d'une colonne en eau liquide de nuage (kg/m<sup>2</sup>) dépassé pendant 1% du temps sur une année

