

RECOMMANDATION UIT-R P.836-3

**Vapeur d'eau: concentration à la surface de la Terre
et contenu total d'une colonne d'air**

(Question UIT-R 201/3)

(1992-1997-2001-2001)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, pour calculer les effets de réfraction et les affaiblissements dus aux gaz, des informations sur la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau sont nécessaires;
- b) que ces informations sont nécessaires pour toutes les parties de la surface de la Terre et pour toutes les saisons,

recommande

1 que l'on utilise les informations contenues dans les Annexes 1 et 2 pour les calculs sur le plan mondial des effets de propagation qui nécessitent une estimation de la concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre ou du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau et de leurs variations saisonnières, lorsqu'on ne dispose pas de données locales plus précises.

ANNEXE 1

1 Concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre

La vapeur d'eau et l'oxygène atmosphériques sont la cause d'une absorption des ondes millimétriques, surtout au voisinage de leurs raies d'absorption (voir la Recommandation UIT-R P.676). La proportion de l'oxygène atmosphérique est relativement constante, alors que celle de la vapeur d'eau varie en fonction du lieu et du temps.

Les valeurs annuelles de la concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre, ρ exprimée en g/m^3 , dépassées pendant 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30 et 50% de l'année, sont disponibles sous forme de cartes numériques sur le site web de la Commission d'études 3 des radiocommunications, dans les fichiers de données SURF_WVxx.TXT, où $xx = 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30$ et 50 . Les valeurs sont données entre 0° et 360° en longitude et entre $+90^\circ$ et -90° en latitude, avec une résolution de $1,5^\circ$ en latitude et en longitude. Ces valeurs doivent être utilisées avec les fichiers de données associés ESALAT.TXT et ESALON.TXT, qui contiennent respectivement les latitudes et les longitudes des entrées correspondantes (points de la grille) dans les fichiers de données SURF_WVxx.TXT. Pour un emplacement différent des emplacements des points de la grille, la concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre à l'emplacement voulu peut être calculée par interpolation bilinéaire à partir des valeurs des quatre points de la grille les plus proches, comme indiqué dans la Recommandation UIT-R P.1144.

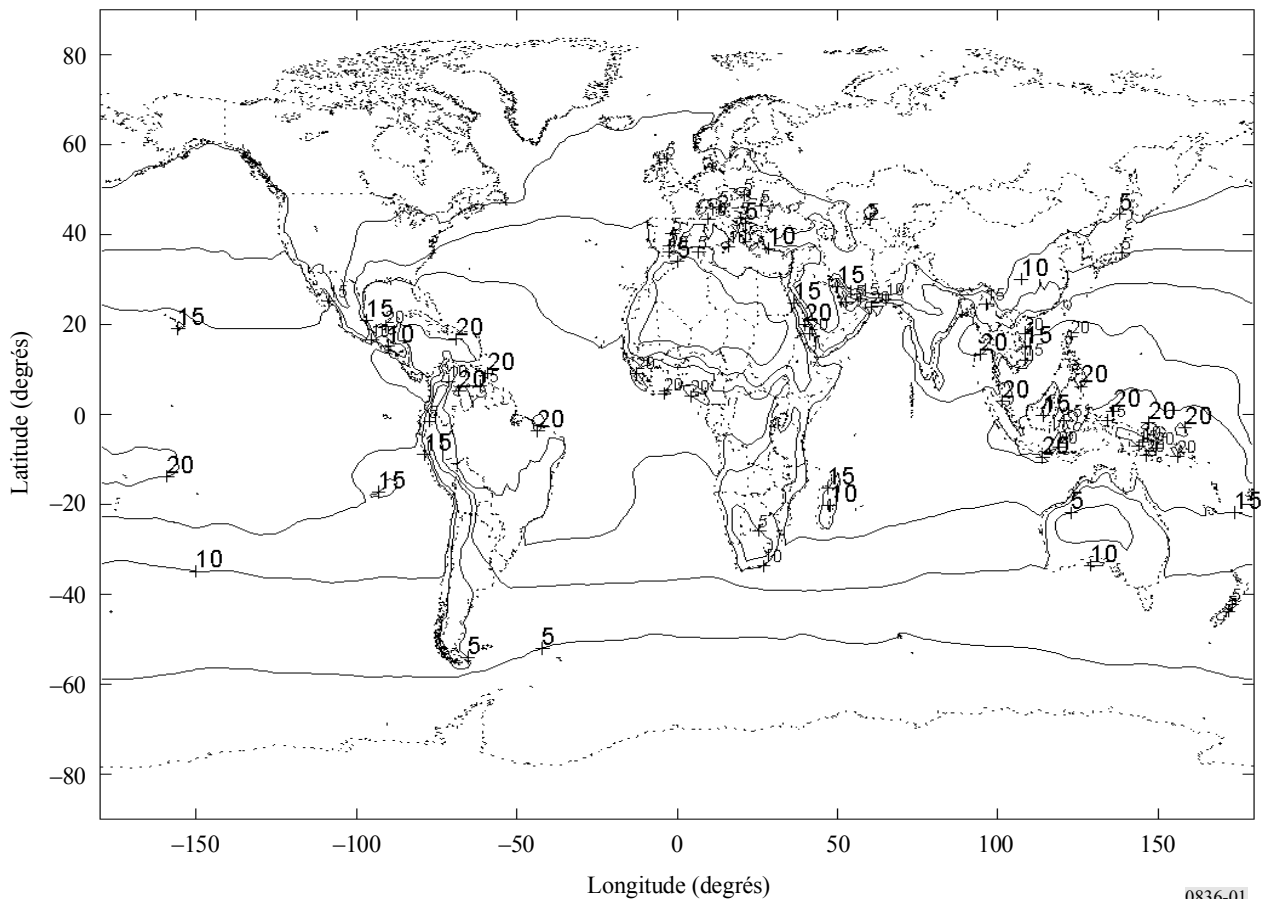
A noter que les cartes numériques de la concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre contiennent le symbole NaN (pas de valeur, *Not-a-Number*) lorsque, pour une probabilité annuelle de dépassement donnée, il n'y a pas de valeur correspondante de la concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre.

Pour les applications qui nécessitent une valeur annuelle moyenne, il convient d'utiliser les concentrations en vapeur d'eau à la surface de la Terre dépassées pendant 50% de l'année, comme le montre la Fig. 1.

Les Fig. 2 à 5 donnent les contours de la concentration en vapeur d'eau moyenne saisonnière.

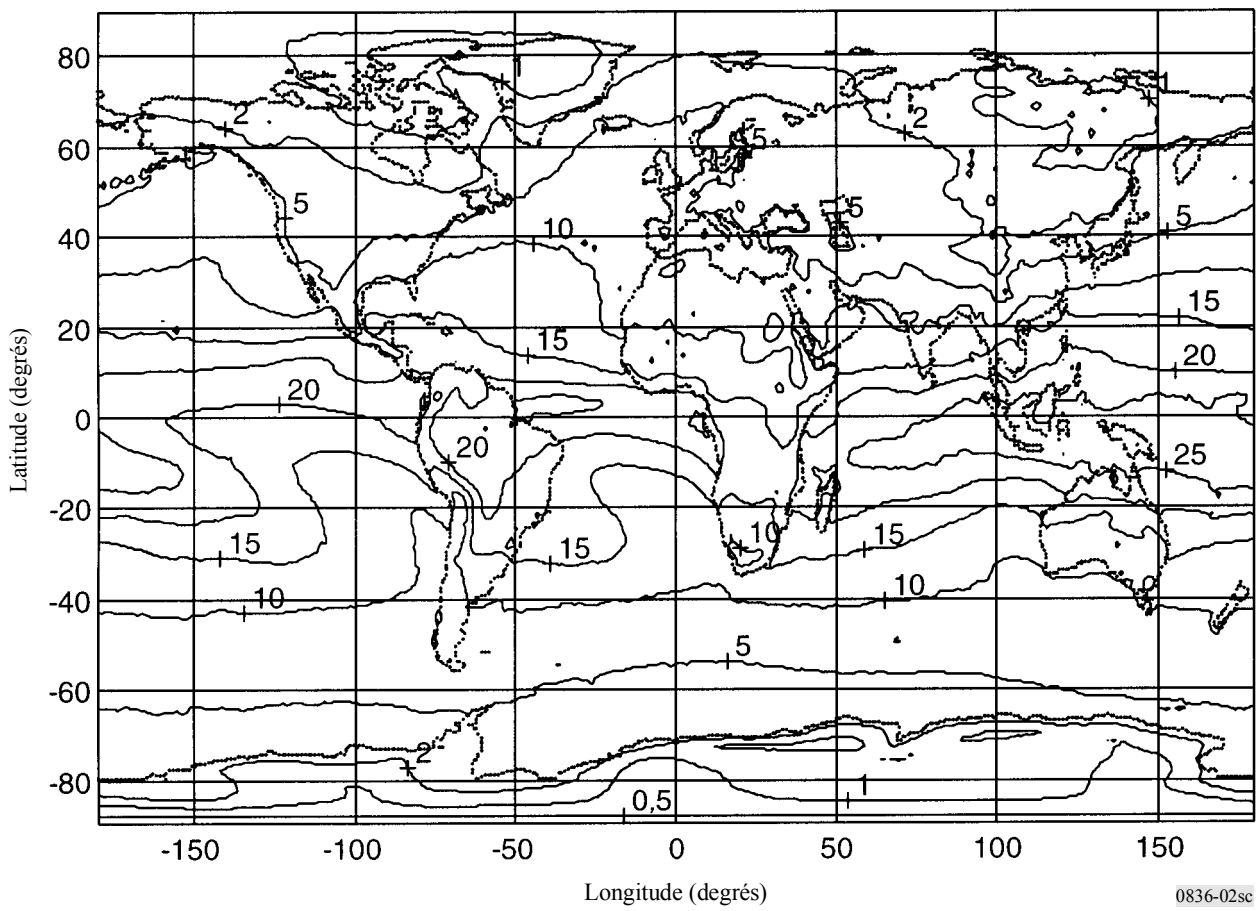
A titre de référence, la Recommandation UIT-R P.453 indique la relation entre la concentration en vapeur d'eau, la pression partielle de vapeur d'eau et l'humidité relative.

FIGURE 1
Concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre (g/m^3) dépassée pendant 50% de l'année



0836-01

FIGURE 2
Décembre, janvier, février: concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre (g/m³)



0836-02sc

FIGURE 3
Mars, avril, mai: concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre (g/m^3)

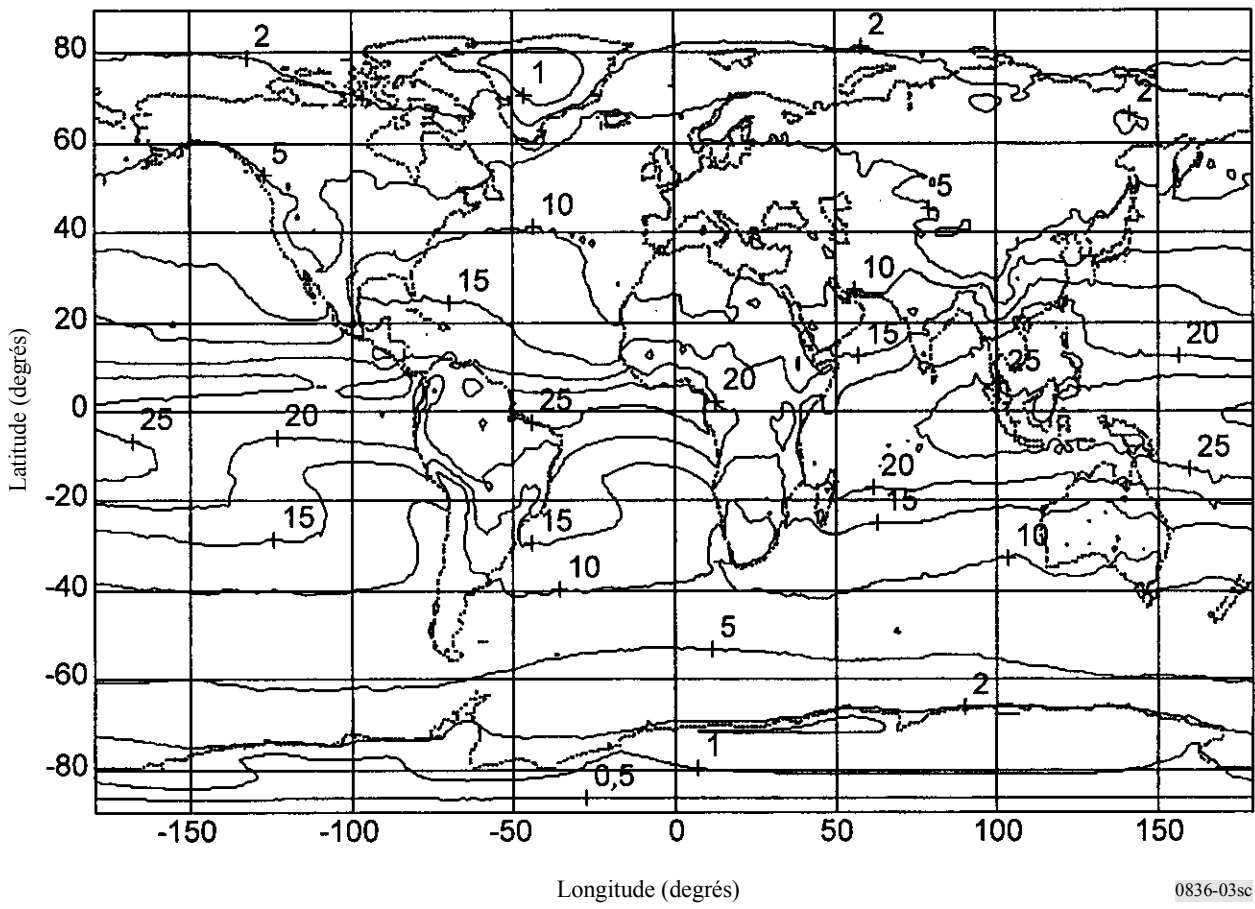


FIGURE 4
Juin, juillet, août: concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre (g/m^3)

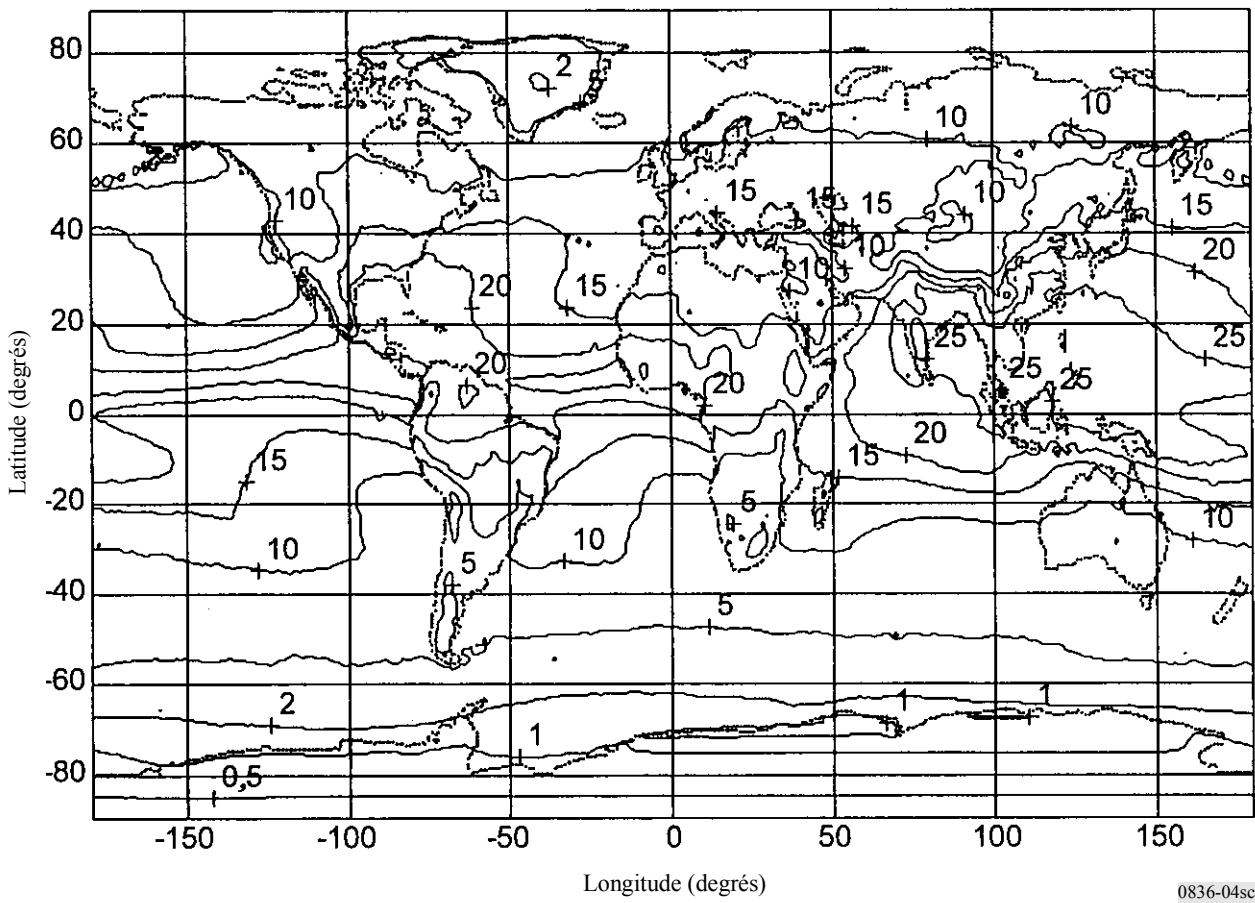
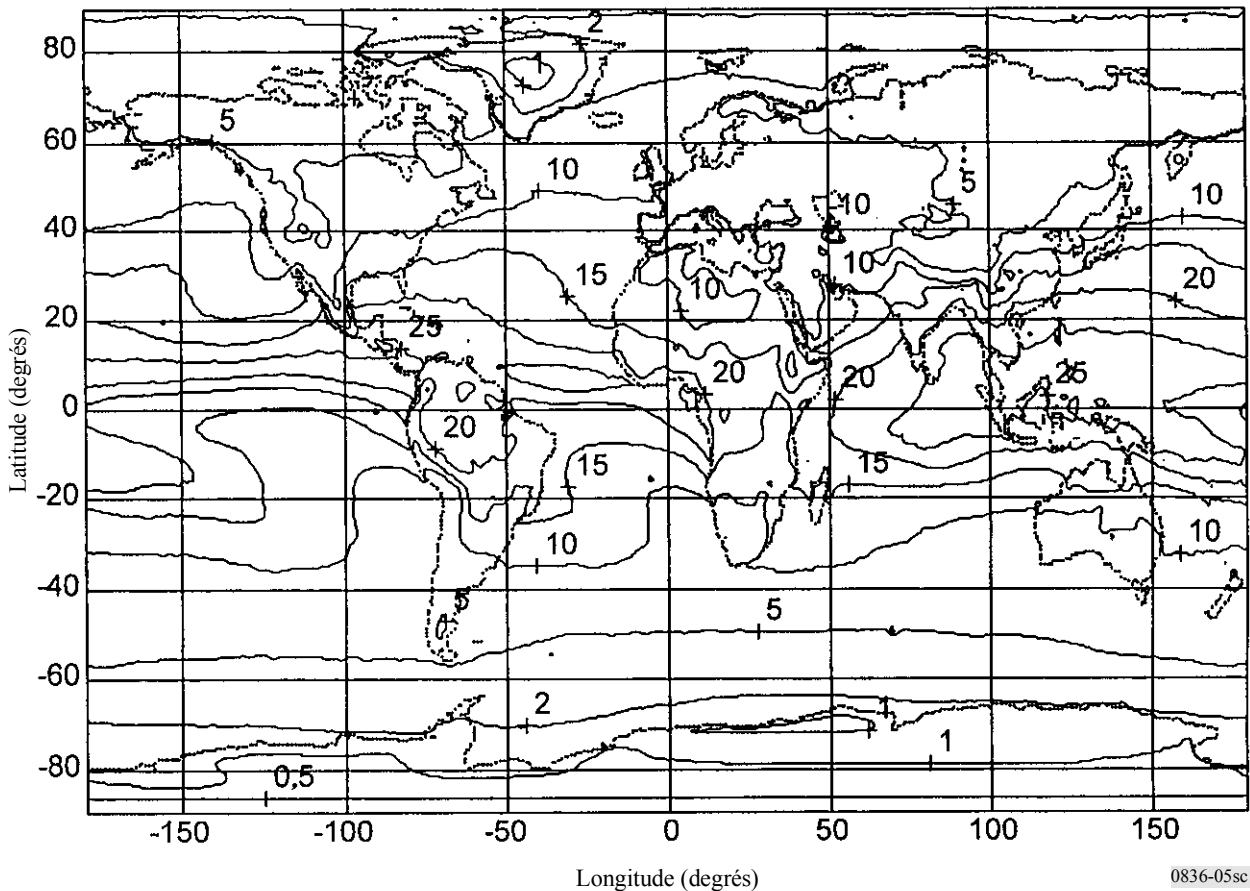


FIGURE 5

Septembre, octobre, novembre: concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre (g/m^3)



ANNEXE 2

Contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau atmosphérique

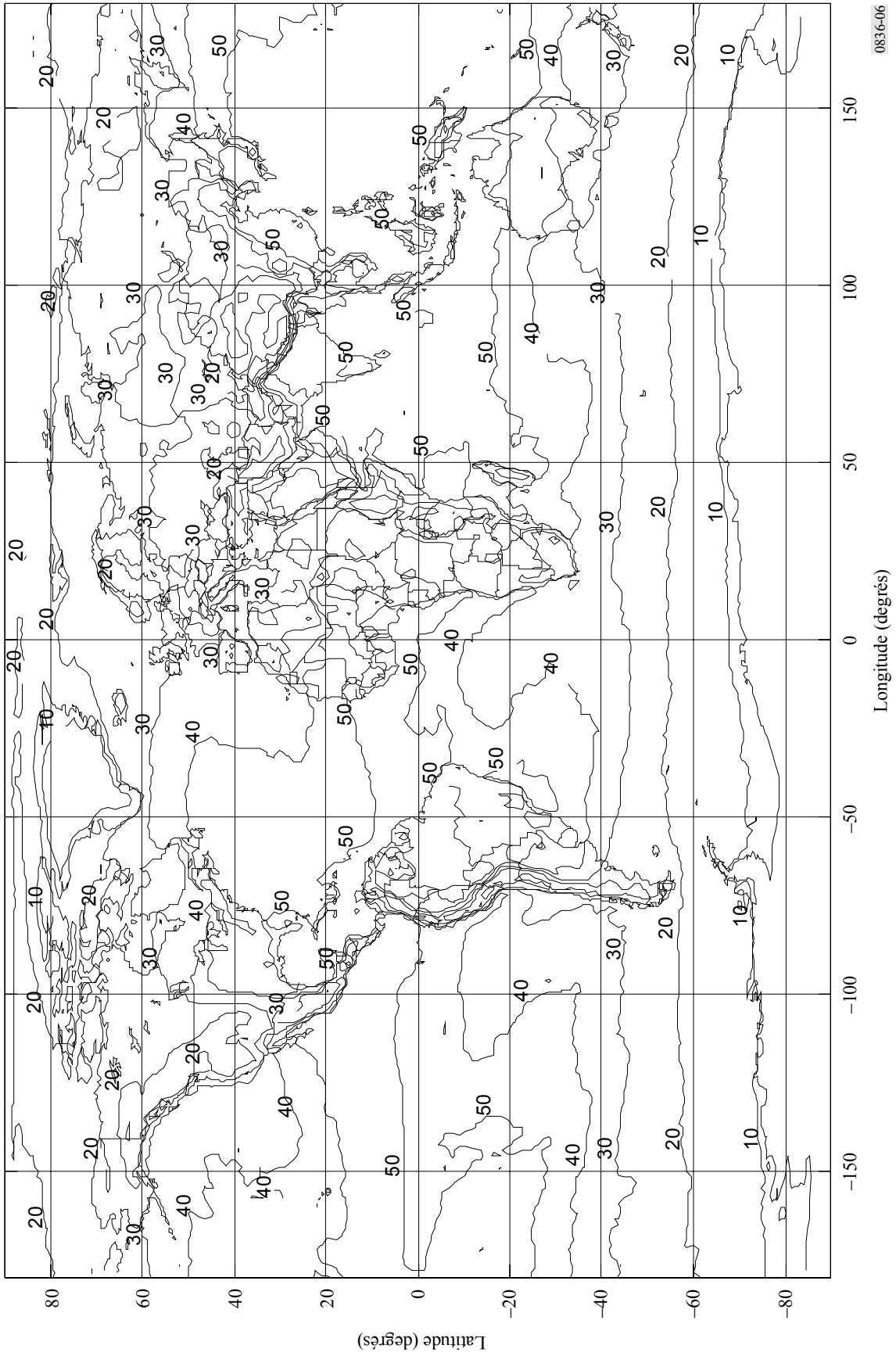
Dans certaines applications, on peut utiliser le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau sur le trajet, notamment pour le calcul de la longueur supplémentaire du trajet et de l'affaiblissement dû à la vapeur d'eau atmosphérique, ce dernier étant supposé proportionnel au contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau, le coefficient de proportionnalité étant le coefficient d'absorption massique de la vapeur d'eau.

Le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau, exprimé en kg/m^2 ou, de manière équivalente, en mm d'eau précipitable, peut être obtenu soit à partir de données provenant de radiosondes et couvrant un grand domaine spatio-temporel, même si ces données présentent une résolution temporelle plutôt limitée et s'appliquent aux trajets en direction du zénith, soit par extraction de mesures radiométriques à des fréquences convenables, directement le long du trajet considéré.

1 Cartes du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau

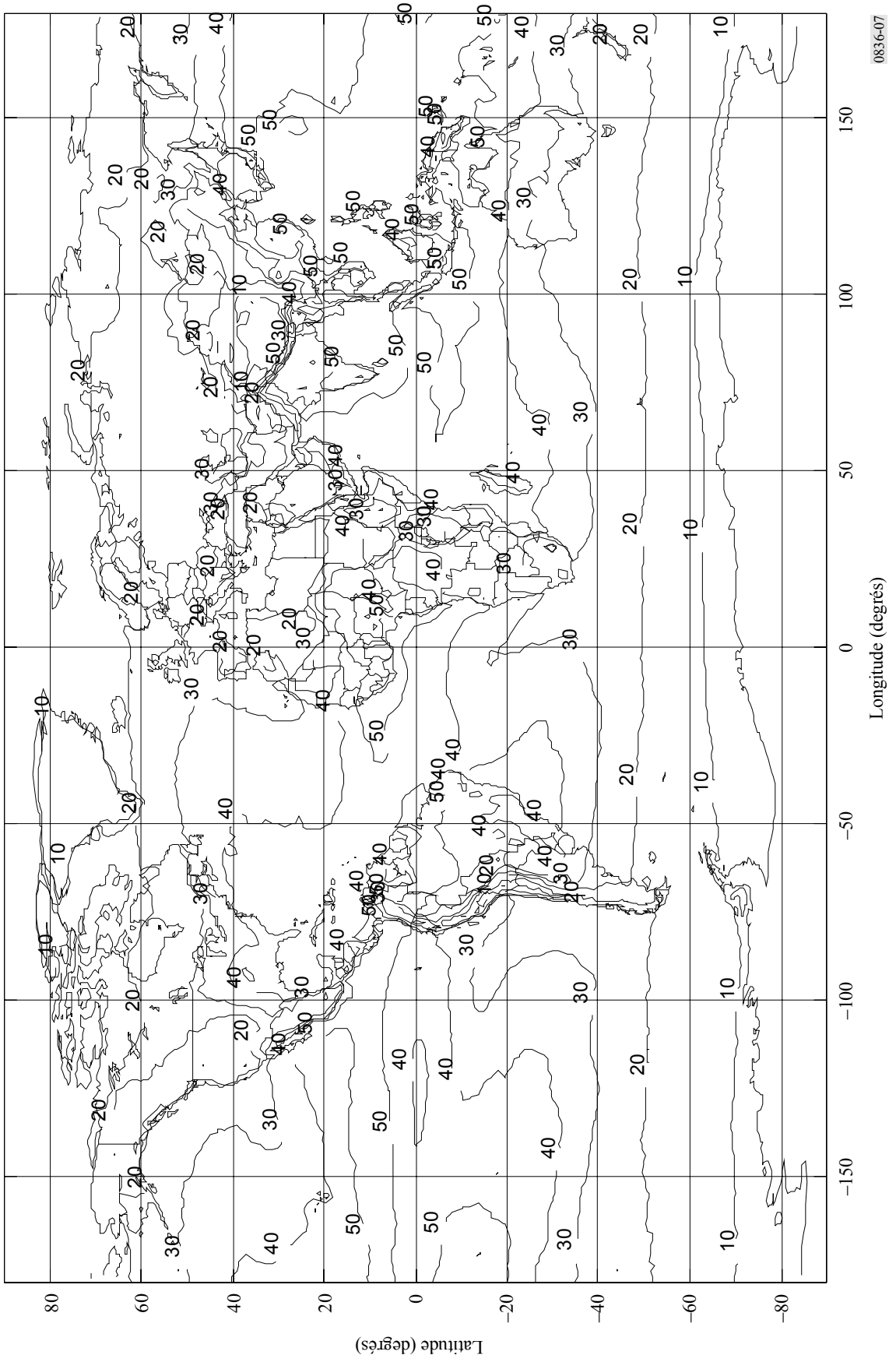
En l'absence de mesures locales, le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau indiqué sur les Fig. 6 à 9 ainsi que les procédures exposées dans la Recommandation UIT-R P.676 devraient servir de base pour calculer l'absorption de la vapeur d'eau.

FIGURE 6
Colonne d'air en vapeur d'eau (kg/m^3), valeur dépassée pendant 1% de l'année



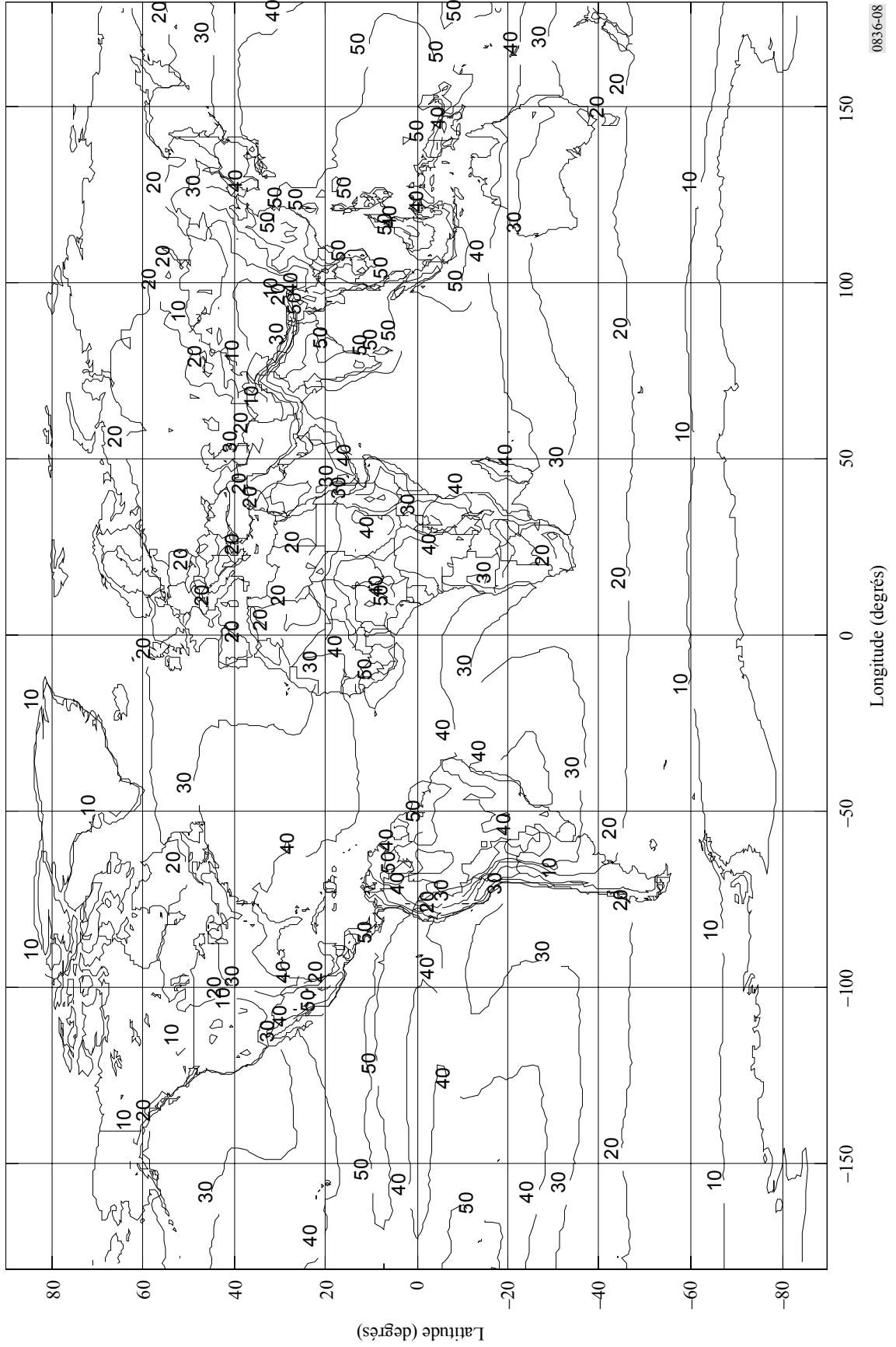
0836-06

FIGURE 7
Colonne d'air en vapeur d'eau (kg/m³), valeur dépassée pendant 5% de l'année



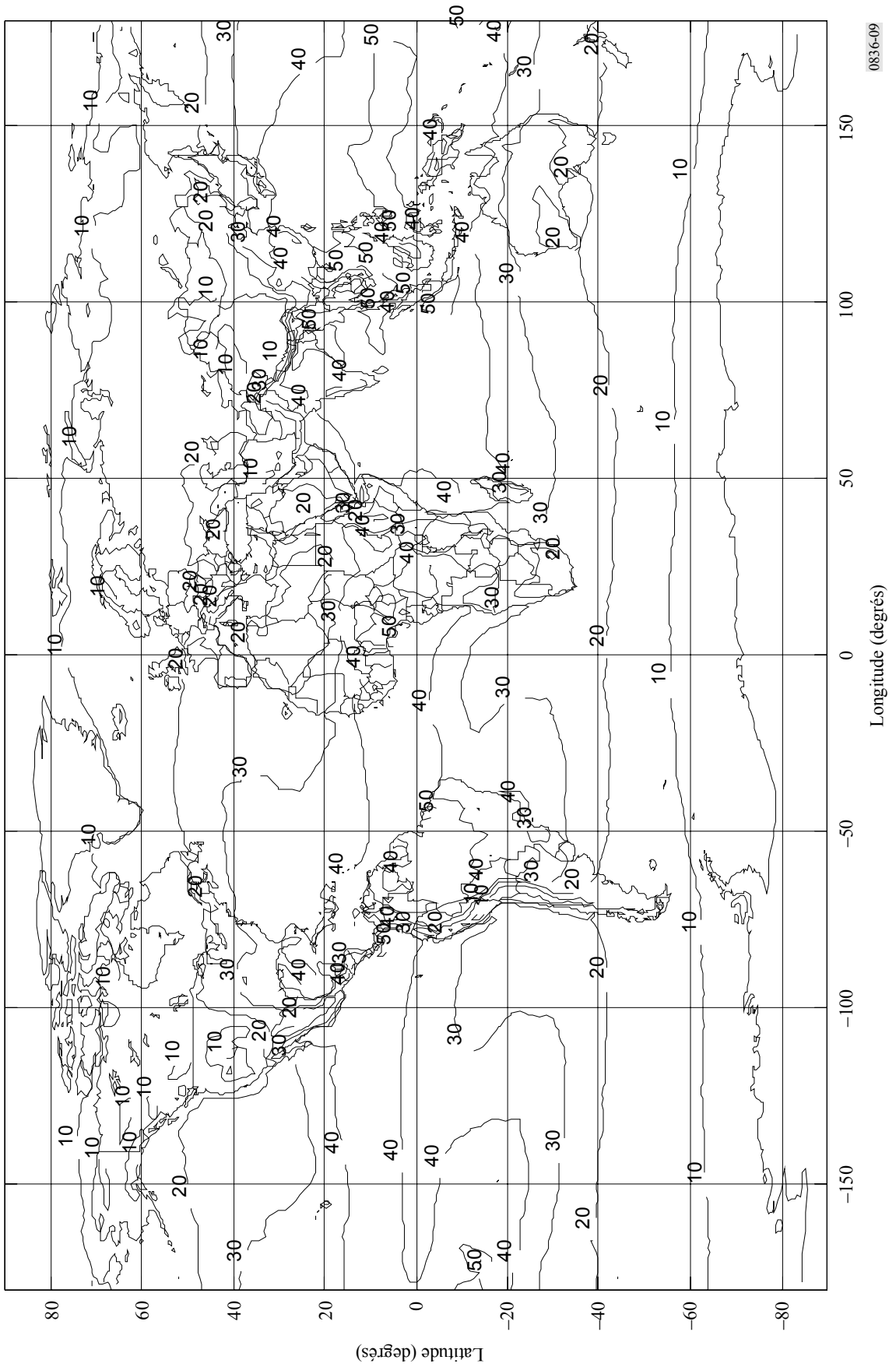
0836-07

FIGURE 8
Colonne d'air en vapeur d'eau (kg/m³), valeur dépassée pendant 10% de l'année



0836-08

FIGURE 9
Colonne d'air en vapeur d'eau (kg/m³), valeur dépassée pendant 20% de l'année



0836-09

Les valeurs indiquées sur les figures sont exprimées en kg/m^2 pour quatre niveaux annuels différents de probabilité de dépassement. 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. Les fichiers de données (ESAWVCxx.TXT) contenant ces informations, ainsi que des données pour calculer des niveaux de probabilité supplémentaires, peuvent être obtenus auprès du Bureau des radiocommunications de l'UIT.

Dans les fichiers de données, la grille des valeurs pour la latitude va de $+90^\circ$ N à -90° S par pas de $1,5^\circ$; la grille des valeurs pour la longitude va de 0° à 360° par pas de $1,5^\circ$.

Pour un emplacement différent des emplacements correspondant aux points de la grille, le contenu total d'une colonne d'air à l'emplacement voulu se calcule par interpolation bilinéaire à partir des valeurs de quatre points de grille les plus proches.

Pour calculer la valeur dépassée pour une probabilité différente des valeurs contenues dans les fichiers de données, il faut procéder par interpolation semi-logarithmique (logarithmique sur la probabilité en pourcentage et linéaire sur le contenu total d'une colonne d'air).

2 Estimation du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau à partir de mesures radiométriques

En l'absence de pluie, on peut exprimer l'affaiblissement dû à l'atmosphère comme la somme d'un terme d'absorption par l'oxygène et de deux termes proportionnels aux contenus totaux d'une colonne d'air en vapeur d'eau, V , et en eau liquide, L , les coefficients de proportionnalité étant respectivement les coefficients d'absorption massiques a_V et a_L .

Pour un radiomètre à double canal, fonctionnant aux deux fréquences f_1 et f_2 , on peut écrire le système d'équations suivant:

$$\begin{aligned} A_1 &= A_{o1} + a_{V1}V + a_{L1}L && \text{dB} \\ A_2 &= A_{o2} + a_{V2}V + a_{L2}L && \text{dB} \end{aligned} \tag{1}$$

où:

- A_1 et A_2 : affaiblissements calculés à partir de mesures effectuées par le radiomètre aux deux fréquences respectives f_1 et f_2 , conformément à la procédure indiquée dans la Recommandation UIT-R P.1322
- A_{oj} : affaiblissement dû à l'oxygène
- V et L : contenus totaux d'une colonne d'air, respectivement, en vapeur d'eau et en eau liquide sur le trajet (mm ou kg/m^2)
- a_{Vj} et a_{Lj} : coefficients d'absorption massiques de la vapeur d'eau et de l'eau liquide à la fréquence j .

La valeur de A_{oj} peut être calculée à partir de la Recommandation UIT-R P.676, de même que la valeur du coefficient d'absorption massique de la vapeur d'eau a_{Vj} à la fréquence choisie, qu'on peut supposer égale à l'affaiblissement linéique dû à la vapeur d'eau γ_w donné dans la même Recommandation, divisé par la concentration en vapeur d'eau ρ (g/m^3) au niveau du sol. La valeur de a_{Lj} peut être obtenue à partir de la Fig. 1 de la Recommandation UIT-R P.840.

Il convient de choisir correctement les valeurs de f_1 et f_2 de sorte que la sensibilité à l'absorption par la vapeur d'eau et par l'eau liquide soit différente. D'une manière générale, plus cette différence est grande, meilleure est la précision de l'extraction. On choisit souvent la raie à 20,6 GHz ou à 23,8 GHz pour la fréquence inférieure, la sensibilité à l'absorption par la vapeur d'eau étant élevée à ces fréquences. La fréquence supérieure, pour laquelle c'est la sensibilité à l'absorption par l'eau liquide qui est la plus élevée, est généralement choisie dans la fenêtre de propagation 31-36 GHz.

Par la résolution du système d'équations (1), on peut alors obtenir le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau, V . Au lieu de calculer ce contenu à partir de données obtenues par une radiosonde, la valeur de V est maintenant estimée directement le long du trajet effectif. On obtient aussi une résolution temporelle bien meilleure, ce qui permet de disposer de renseignements sur la variabilité à court terme de V .

Il convient de souligner que l'utilisation de la procédure donnée ci-dessus pour le calcul de L peut conduire à d'importantes imprécisions car le coefficient d'absorption massique a_{Lj} dépend fortement de la température.
