

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R P.836-4**  
(10/2009)

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

**Série P**  
**Propagation des ondes radioélectriques**



Union  
internationale des  
télécommunications

## Avant-propos

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

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

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

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

### Séries des Recommandations UIT-R

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

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

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

Publication électronique  
Genève, 2010

© UIT 2010

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

## RECOMMANDATION UIT-R P.836-4

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

(Question UIT-R 201/3)

(1992-1997-2001-2001-2009)

**Champ d'application**

La présente Recommandation décrit des méthodes permettant de prévoir la concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre et le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau sur des trajets Terre vers espace.

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 concentration en vapeur d'eau de l'atmosphère sont nécessaires;
- b) que ces informations sont disponibles pour tous les emplacements à la surface de la Terre et pour toutes les saisons,

*recommande*

**1** d'utiliser 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,  $\rho$  exprimée en  $\text{g/m}^3$ , dépassées pendant 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99% d'une année moyenne, 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\_v4.TXT, où xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99. Les valeurs sont données entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$  en longitude et entre  $+90^\circ$  et  $-90^\circ$  en latitude, avec une résolution de  $1,125^\circ$  en latitude et en longitude. Ces valeurs doivent être utilisées avec les fichiers de données associés ESALAT1dot125.TXT et ESALON1dot125.TXT, qui contiennent les latitudes

et les longitudes des entrées correspondantes (points de la grille) dans les fichiers de données SURF\_WVxx\_v4.TXT. La concentration en vapeur d'eau à n'importe quel emplacement voulu à la surface de la Terre peut être obtenue à l'aide de la méthode d'interpolation suivante:

- a) déterminer les deux probabilités  $p_{above}$  et  $p_{below}$  supérieure et inférieure à la probabilité souhaitée  $p$  dans l'ensemble: 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99%;
- b) pour les deux probabilités  $p_{above}$  et  $p_{below}$ , déterminer les concentrations en vapeur d'eau à la surface de la Terre  $\rho'_1$ ,  $\rho'_2$ ,  $\rho'_3$  et  $\rho'_4$  aux quatre points de la grille les plus proches;
- c) à l'aide du fichier de données de hauteur d'échelle de la vapeur d'eau, VSCH\_xx\_v4.TXT, où xx correspond aux probabilités  $p_{above}$  et  $p_{below}$ , déterminer la hauteur d'échelle de la vapeur d'eau aux quatre points de la grille les plus proches  $vsch_1$ ,  $vsch_2$ ,  $vsch_3$  et  $vsch_4$  pour chaque probabilité  $p_{above}$  et  $p_{below}$ ;
- d) à l'aide de la Recommandation UIT-R P.1511, déterminer les altitudes topographiques  $alt_1$ ,  $alt_2$ ,  $alt_3$  et  $alt_4$  des quatre points de la grille les plus proches;
- e) pour chacun des quatre points de la grille les plus proches et chaque probabilité, déterminer les concentrations en vapeur d'eau  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  et  $\rho_4$  à l'altitude souhaitée  $alt$  en rapportant les concentrations en vapeur d'eau  $\rho'_1$ ,  $\rho'_2$ ,  $\rho'_3$  et  $\rho'_4$  à l'aide de la relation suivante:

$$\rho_i = \rho'_i e^{-\frac{alt-alt_i}{vsch_i}} \quad \text{pour } i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

- f) déterminer les concentrations en vapeur d'eau  $\rho_{above}$  et  $\rho_{below}$  pour les probabilités  $p_{above}$  et  $p_{below}$  et pour l'emplacement voulu par interpolation bilinéaire à partir des quatre valeurs de concentration en vapeur d'eau  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  et  $\rho_4$  aux quatre points de la grille, comme décrit dans la Recommandation UIT-R P.1144 (à titre de référence, la procédure à utiliser pour déterminer  $\rho_{above}$  et  $\rho_{below}$  à partir de  $\rho'_1$ ,  $\rho'_2$ ,  $\rho'_3$  et  $\rho'_4$  est illustrée sur la Fig. 1);
- g) déterminer la concentration en vapeur d'eau  $\rho$  pour la probabilité souhaitée  $p$  par interpolation entre  $\rho_{above}$  et  $\rho_{below}$  en fonction de  $p_{above}$  et  $p_{below}$  sur une échelle linéaire de  $\rho$  en fonction de  $\log p$ .

Il est à 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*) lorsqu'il n'y a pas de valeur de la concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre correspondant à une probabilité annuelle de dépassement donnée.

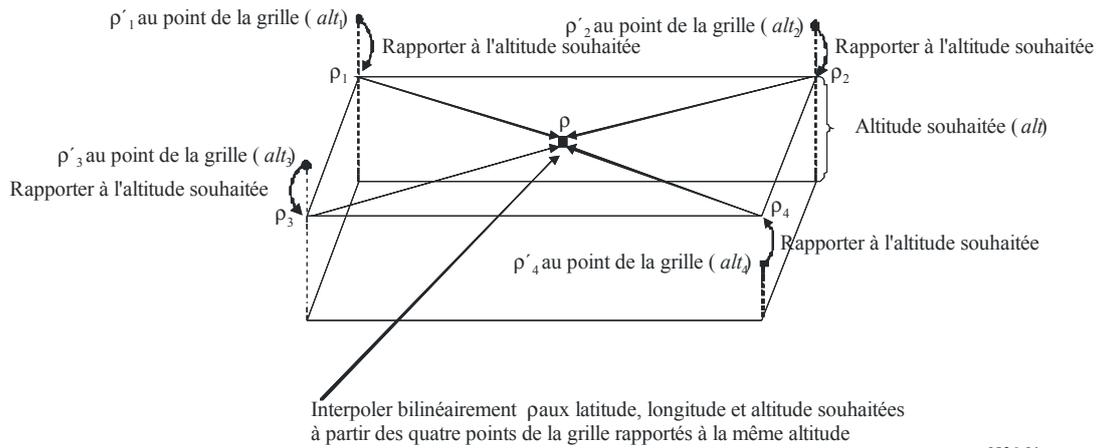
Un exemple de contour de la hauteur d'échelle de la vapeur d'eau est représenté sur la Fig. 2 pour une probabilité de dépassement de 1%. Des exemples de contours de la concentration moyenne annuelle en vapeur d'eau sont représentés sur les Fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 pour des probabilités de dépassement de 0,1, 0,5, 1, 5, 10, 20 et 50%.

Les Fig. 10, 11, 12 et 13 donnent les contours de la concentration moyenne saisonnière en vapeur d'eau. Il convient de noter que ces données moyennes saisonnières ont été obtenues à partir d'un ensemble de données différent de celui utilisé pour les données moyennes annuelles.

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

FIGURE 1

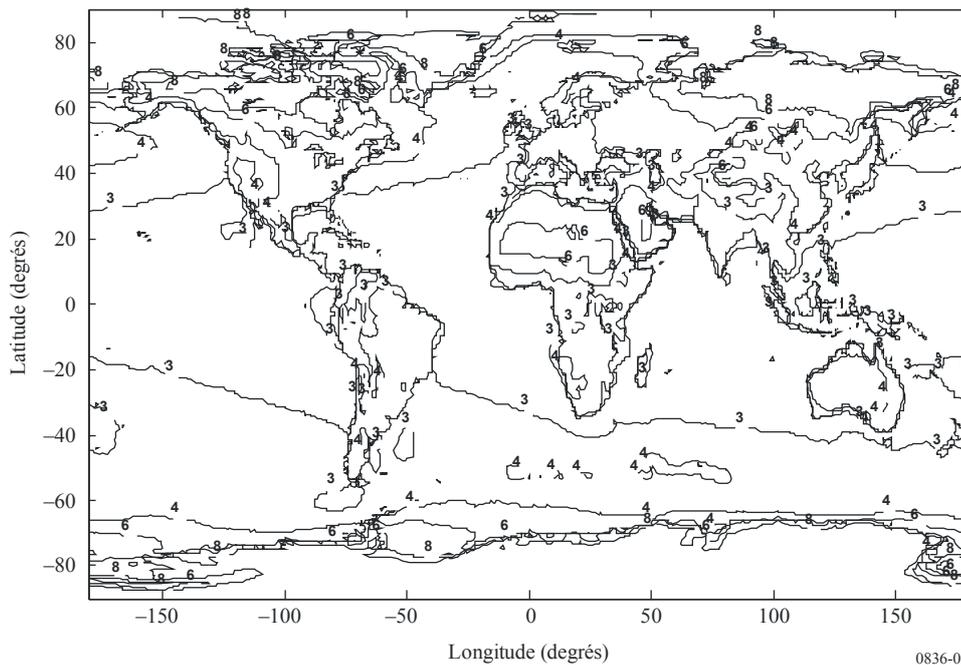
**Procédure d'interpolation pour les probabilités supérieure et inférieure à la probabilité souhaitée**



0836-01

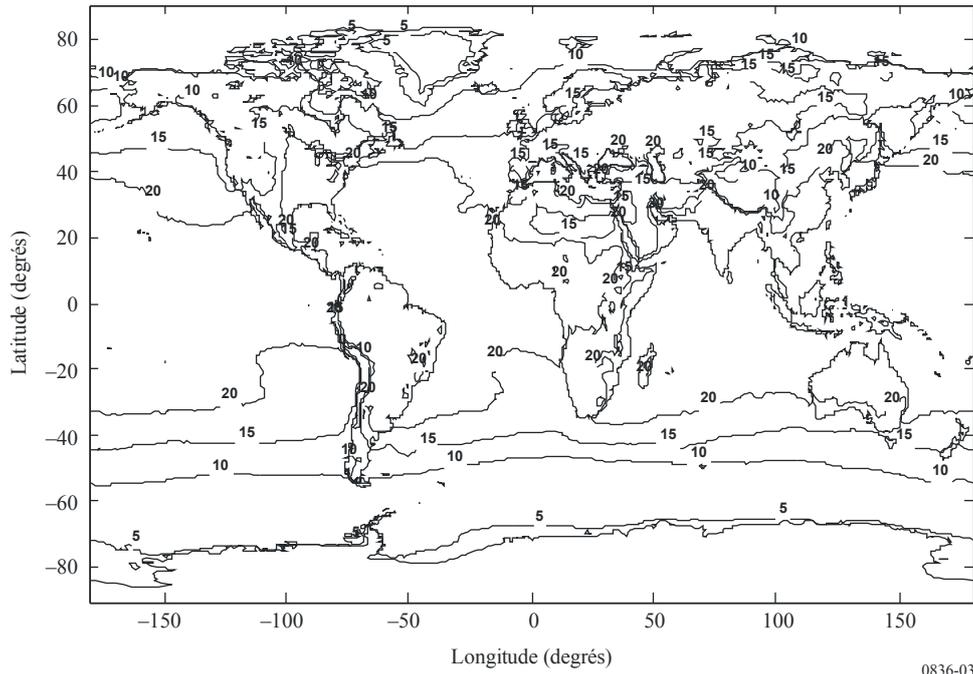
FIGURE 2

**Hauteur d'échelle de la vapeur d'eau (km) dépassée pendant 1% de l'année**



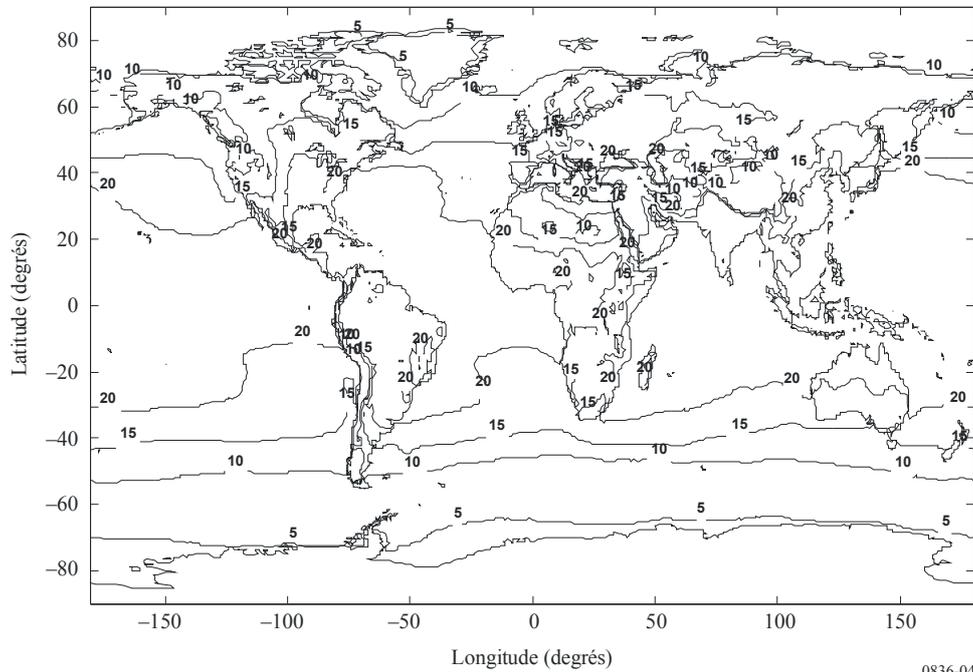
0836-02

FIGURE 3  
Concentration en vapeur d'eau ( $\text{g/m}^3$ ) dépassée pendant 0,1% de l'année



0836-03

FIGURE 4  
Concentration en vapeur d'eau ( $\text{g/m}^3$ ) dépassée pendant 0,5% de l'année



0836-04

FIGURE 5  
Concentration en vapeur d'eau ( $\text{g/m}^3$ ) dépassée pendant 1% de l'année

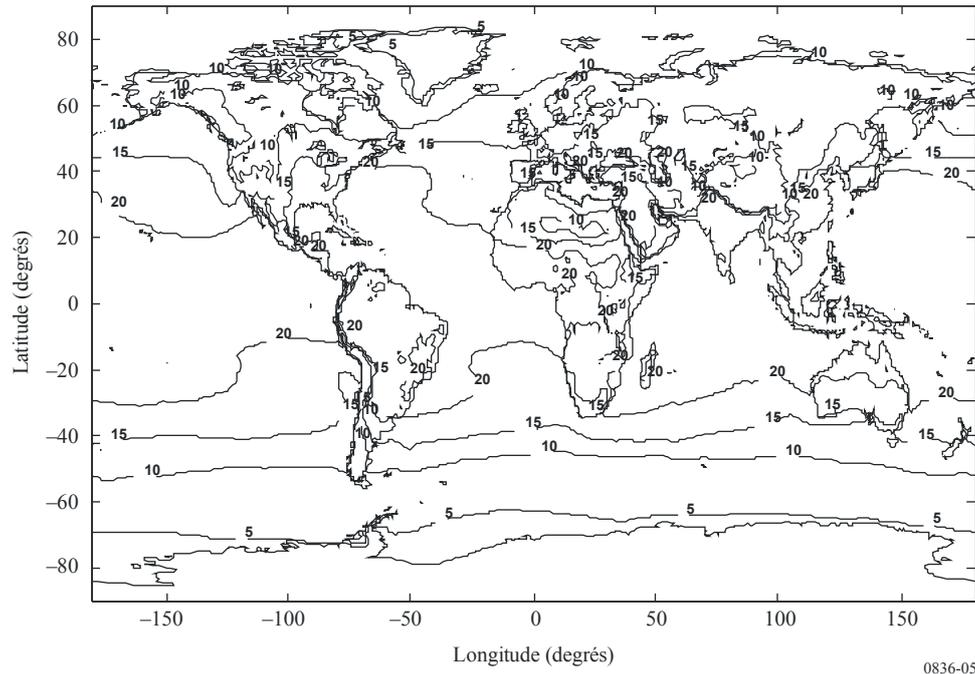


FIGURE 6  
Concentration en vapeur d'eau ( $\text{g/m}^3$ ) dépassée pendant 5% de l'année

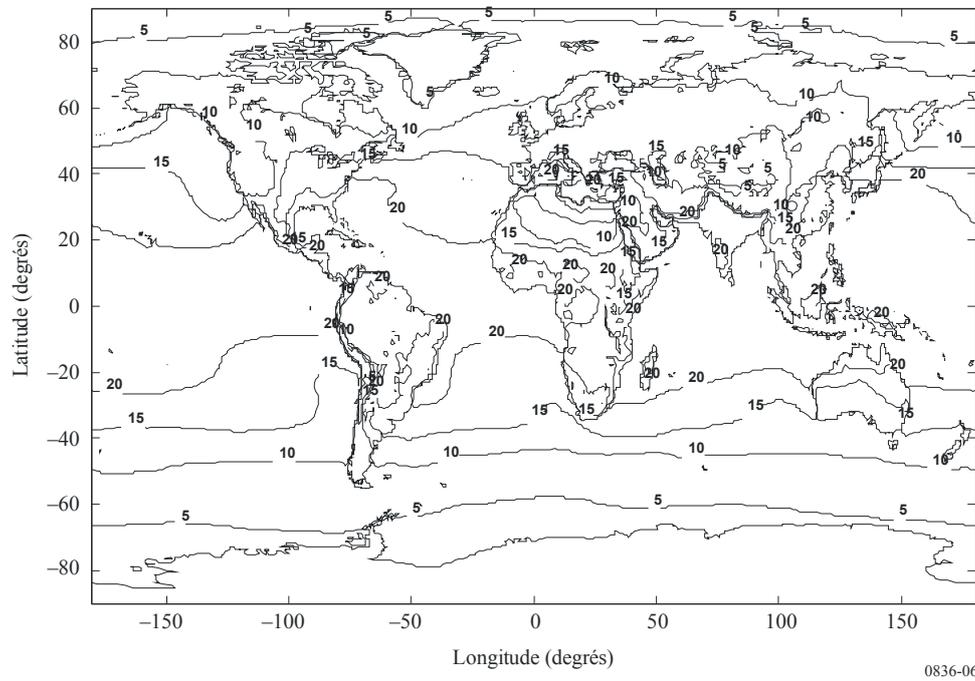


FIGURE 7

Concentration en vapeur d'eau ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) dépassée pendant 10% de l'année

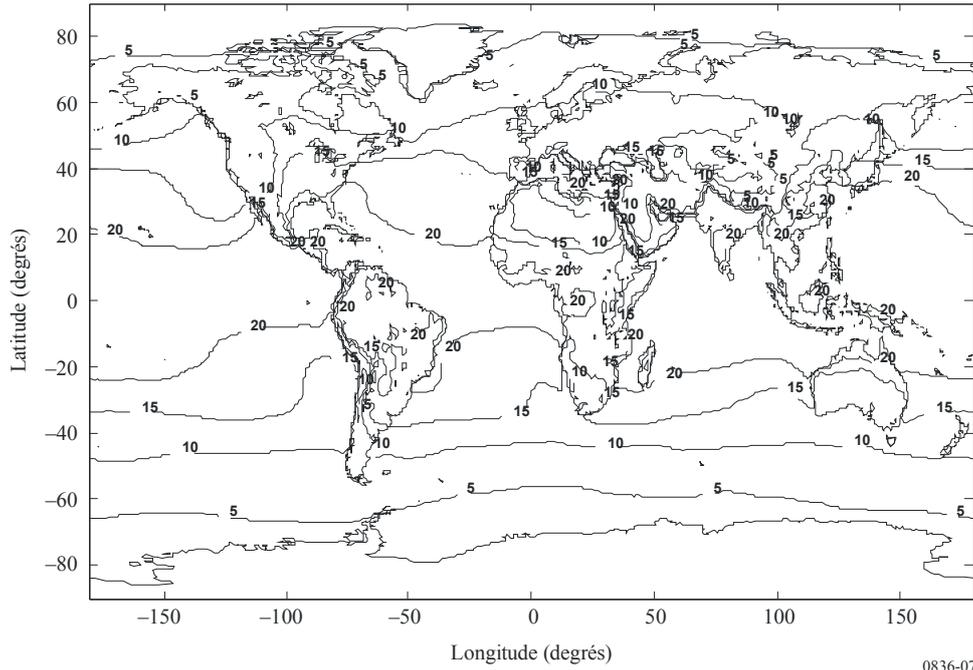


FIGURE 8

Concentration en vapeur d'eau ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) dépassée pendant 20% de l'année

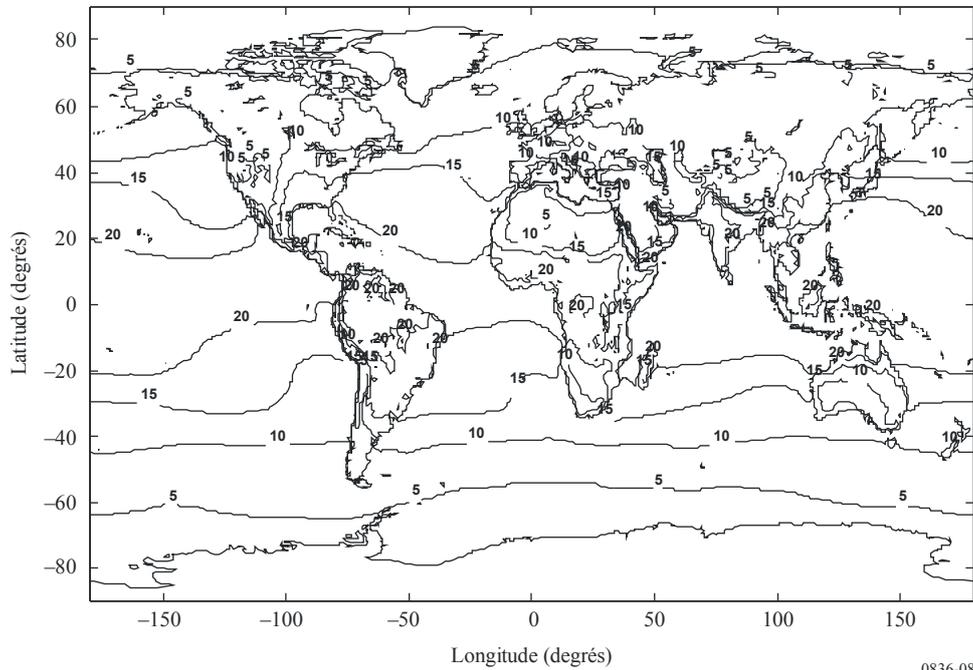




FIGURE 11

Mars, avril, mai: concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre ( $\text{g/m}^3$ )

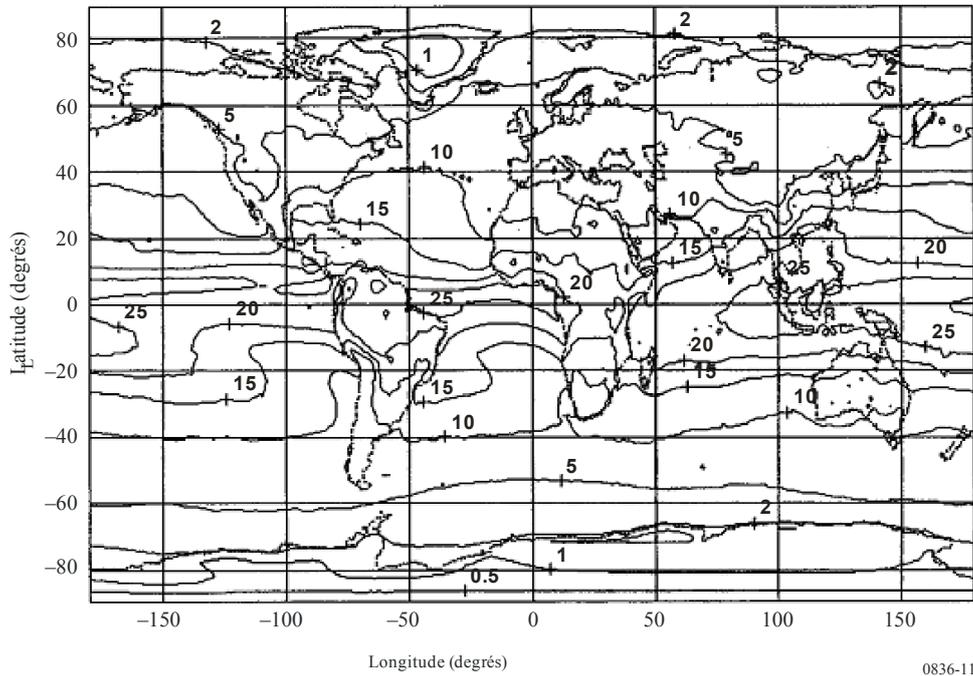


FIGURE 12

Juin, juillet, août: concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre ( $\text{g/m}^3$ )

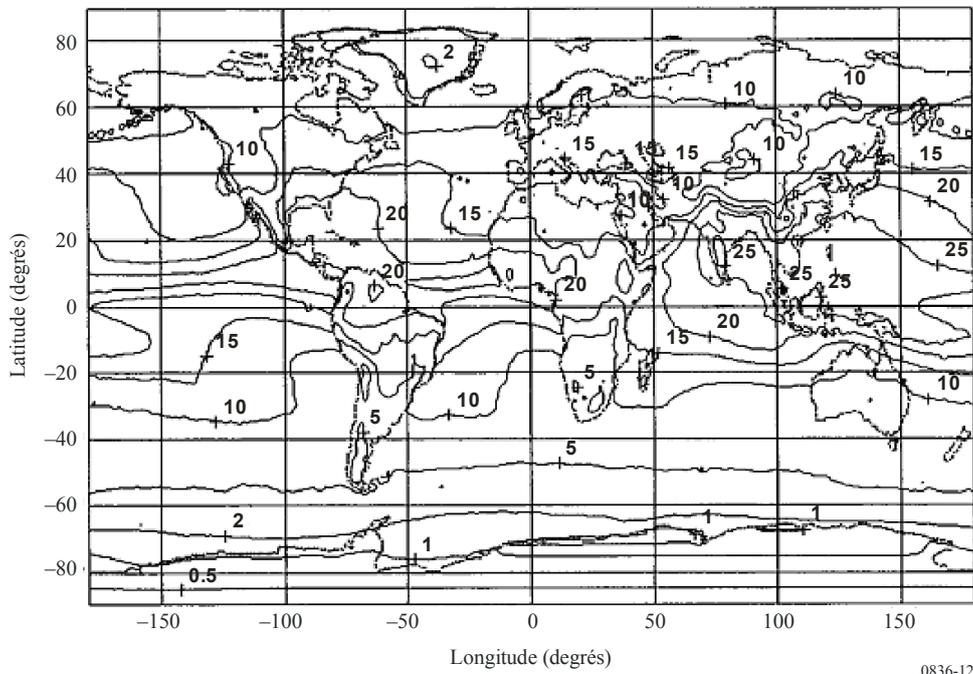
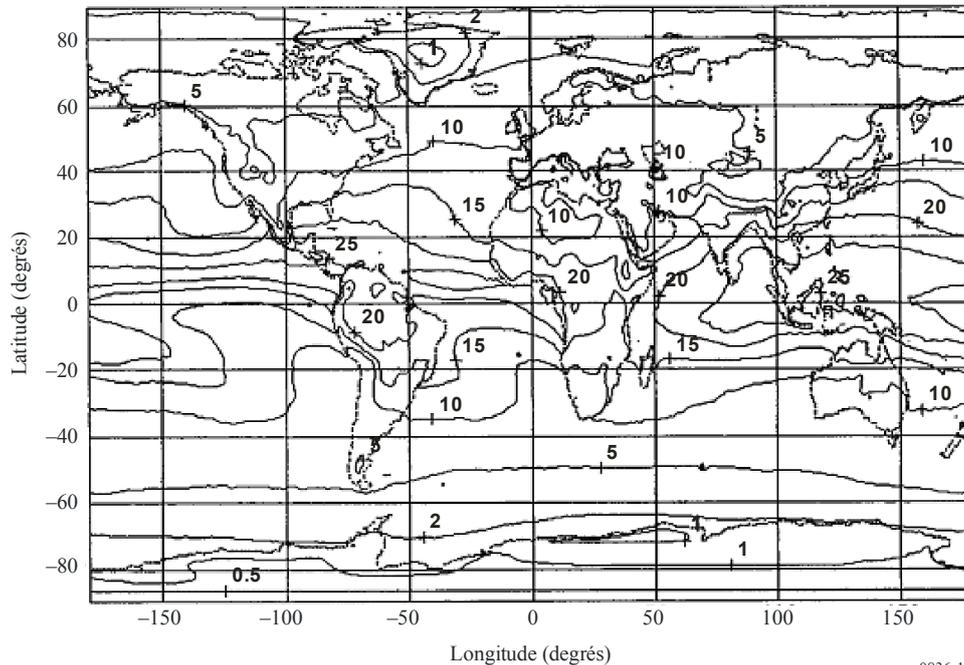


FIGURE 13

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



0836-13

## Annexe 2

### 1 Contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau

Dans certaines applications, on peut utiliser le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau le long d'un trajet pour le calcul de la longueur supplémentaire du trajet et de l'affaiblissement dû à la vapeur d'eau atmosphérique, l'affaiblissement dû à la vapeur d'eau atmosphérique 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  $\text{kg/m}^2$  ou, de manière équivalente, en mm d'eau précipitable, peut être obtenu à partir de données provenant de radiosondes, de mesures faites par des satellites de navigation et d'observations radiométriques. Les données provenant de radiosondes sont largement disponibles mais elles présentent une résolution temporelle limitée et ne s'appliquent qu'aux trajets en direction du zénith. Le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau peut être obtenu à partir de mesures radiométriques à des fréquences appropriées le long du trajet considéré.

Les valeurs annuelles du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau,  $V$  ( $\text{kg/m}^2$ ), dépassées pendant 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99% 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 ESAWVC\_xx\_v4.TXT, où xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99. Les valeurs sont données entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$  en longitude et entre  $+90^\circ$  et  $-90^\circ$  en latitude, avec une résolution de  $1,125^\circ$  en latitude et en longitude. Ces valeurs doivent être utilisées avec les fichiers de données associés ESALAT\_1dot125.TXT et

ESALON\_1dot125.TXT, qui contiennent les latitudes et les longitudes des entrées correspondantes (points de la grille) dans les fichiers de données ESAWVC\_xx\_v4.TXT. Le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau à n'importe quel emplacement voulu à la surface de la Terre peut être obtenu à l'aide de la méthode d'interpolation suivante:

- a) déterminer les deux probabilités  $p_{above}$  et  $p_{below}$  supérieure et inférieure à la probabilité souhaitée  $p$  dans l'ensemble: 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99%;
- b) pour les deux probabilités  $p_{above}$  et  $p_{below}$ , déterminer le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau  $V'_1, V'_2, V'_3$  et  $V'_4$  aux quatre points de la grille les plus proches;
- c) à l'aide du fichier de données de hauteur d'échelle de la vapeur d'eau, VSCH\_xx\_v4.TXT, où xx correspond aux probabilités  $p_{above}$  et  $p_{below}$ , déterminer la hauteur d'échelle de la vapeur d'eau aux quatre points de la grille les plus proches  $vsch_1, vsch_2, vsch_3$  et  $vsch_4$  pour chaque probabilité  $p_{above}$  et  $p_{below}$ ;
- d) à l'aide de la Recommandation UIT-R P.1511, déterminer les altitudes topographiques  $alt_1, alt_2, alt_3$  et  $alt_4$  des quatre points de la grille les plus proches;
- e) pour chacun des quatre points de la grille les plus proches et chaque probabilité, déterminer le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau  $V_1, V_2, V_3$  et  $V_4$  à l'altitude souhaitée  $alt$  en rapportant le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau  $V'_1, V'_2, V'_3$  et  $V'_4$  à l'aide de la relation suivante:

$$V_i = V'_i e^{-\frac{alt-alt_i}{vsch_i}} \quad \text{pour } i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

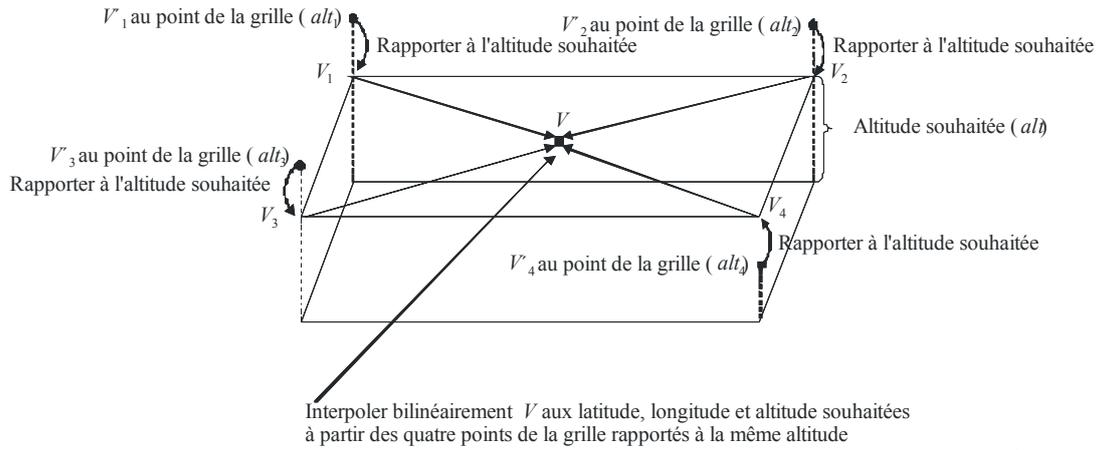
- f) déterminer le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau  $V_{above}$  et  $V_{below}$  pour les probabilités  $p_{above}$  et  $p_{below}$  et pour l'emplacement voulu par une interpolation bilinéaire à partir des quatre valeurs de contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau  $V_1, V_2, V_3$  et  $V_4$  aux quatre points de la grille, comme décrit dans la Recommandation UIT-R P.1144 (à titre de référence, la procédure à utiliser pour déterminer  $V_{above}$  et  $V_{below}$  à partir de  $V'_1, V'_2, V'_3$  et  $V'_4$  est illustrée sur la Fig. 14);
- g) déterminer le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau  $V$  pour la probabilité souhaitée  $p$  par interpolation entre  $V_{above}$  et  $V_{below}$  en fonction de  $p_{above}$  et  $p_{below}$  sur une échelle linéaire de  $V$  en fonction de  $\log p$ .

Il est à noter que les cartes numériques du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau contiennent le symbole NaN (pas de valeur, *Not-a-Number*) lorsqu'il n'y a pas de valeur du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau correspondant à une probabilité annuelle de dépassement donnée.

Des exemples de contours du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau sont représentés sur les Fig. 15, 16, 17, 18, 19, 20 et 21 pour des probabilités de dépassement de 0,1, 0,5, 1, 5, 10, 20 et 50%.

FIGURE 14

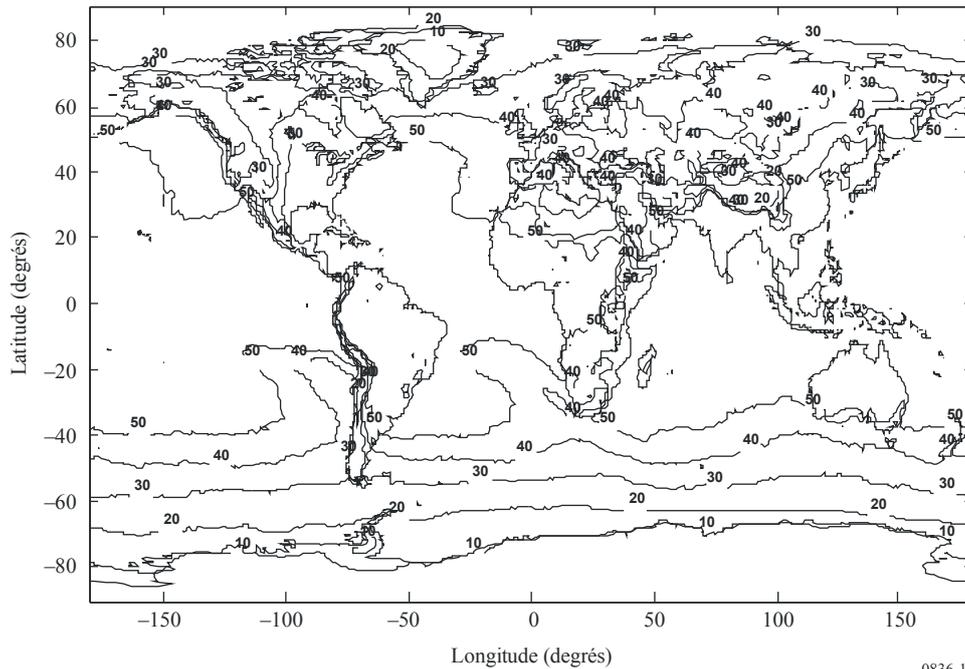
**Procédure d'interpolation pour les probabilités supérieure et inférieure à la probabilité souhaitée**



0836-14

FIGURE 15

**Contenu d'une colonne d'air en vapeur d'eau ( $kg/m^2$ ) dépassé pendant 0,1% de l'année**



0836-15

FIGURE 16

Contenu d'une colonne d'air en vapeur d'eau ( $\text{kg/m}^2$ ) dépassé pendant 0,5% de l'année

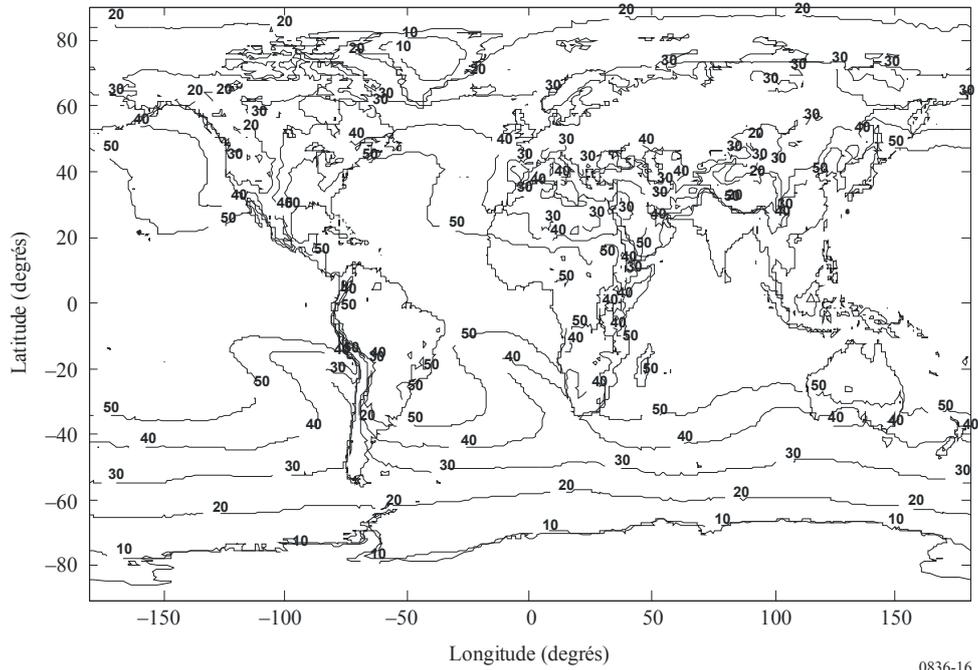


FIGURE 17

Contenu d'une colonne d'air en vapeur d'eau ( $\text{kg/m}^2$ ) dépassé pendant 1% de l'année

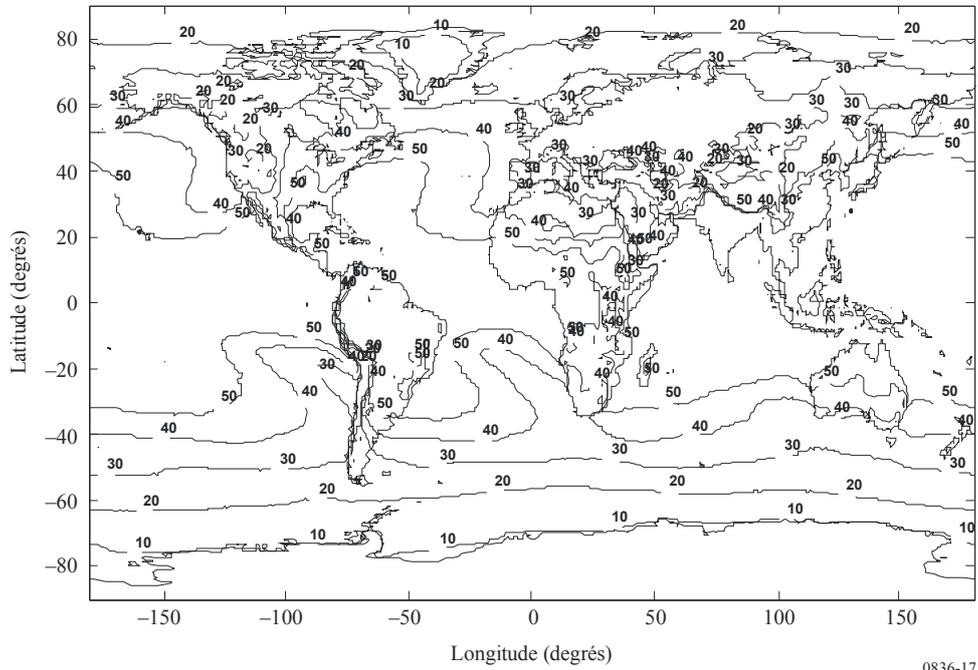
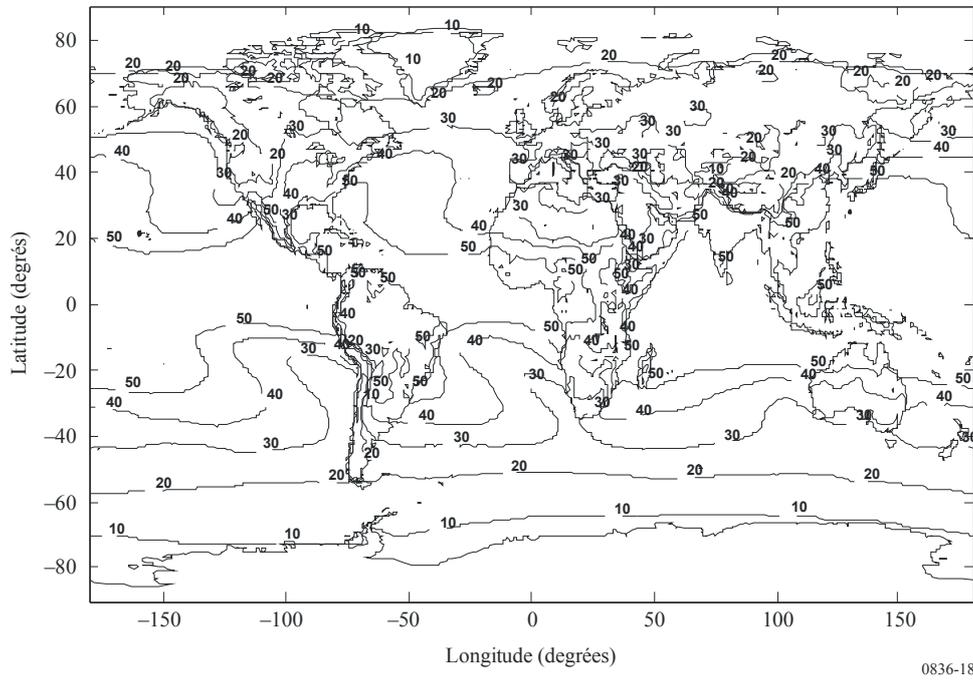


FIGURE 18

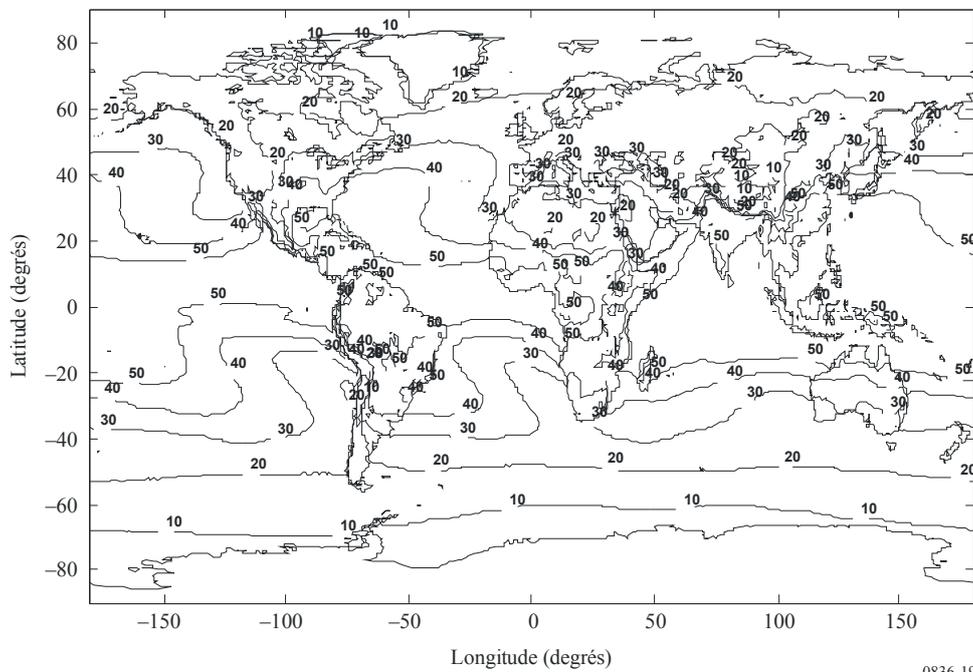
Contenu d'une colonne d'air en vapeur d'eau ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) dépassé pendant 5% de l'année



0836-18

FIGURE 19

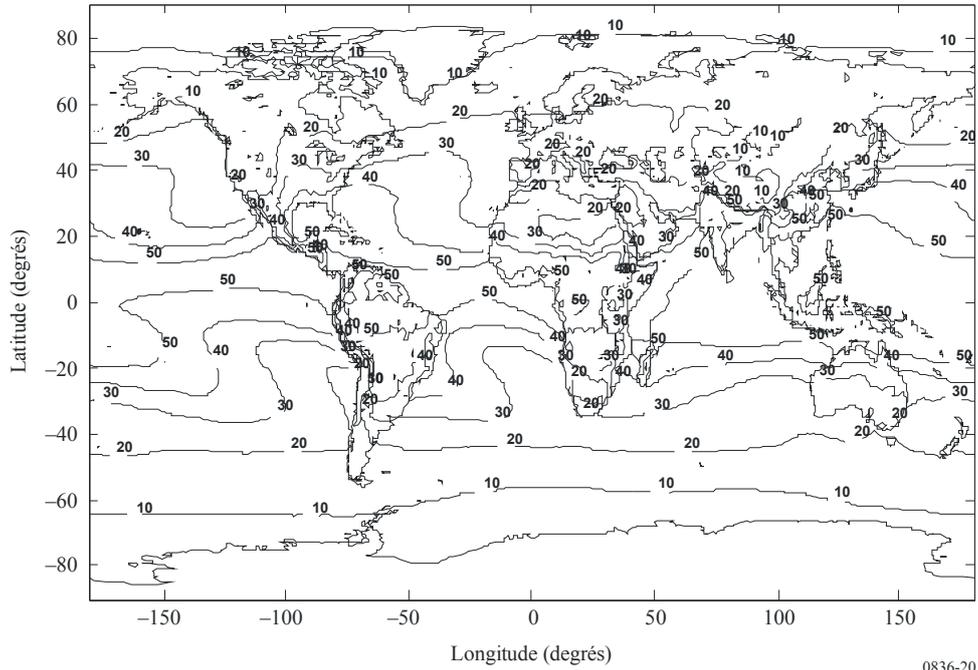
Contenu d'une colonne d'air en vapeur d'eau ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) dépassé pendant 10% de l'année



0836-19

FIGURE 20

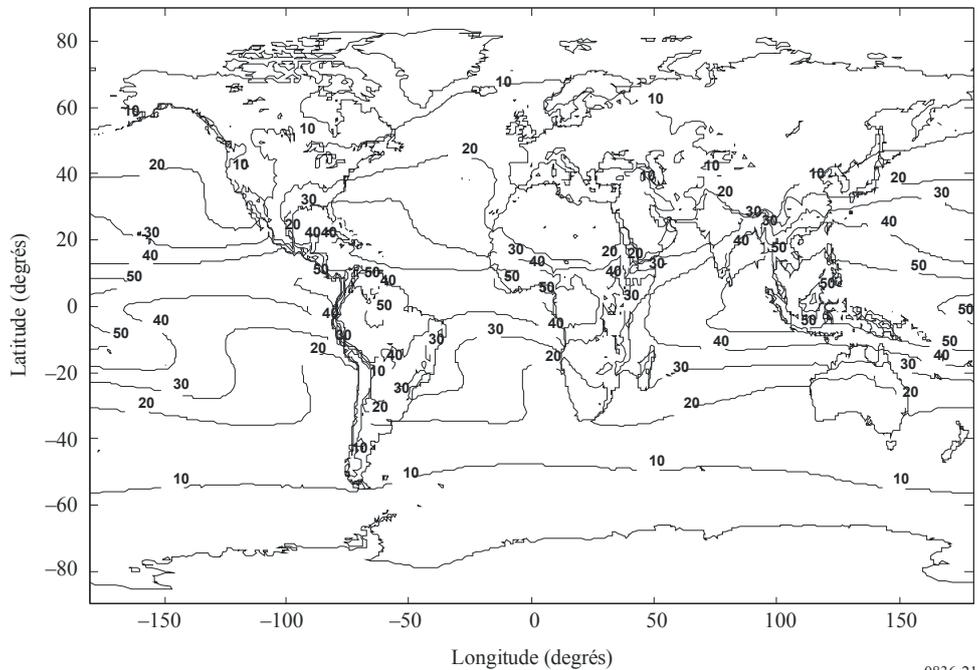
Contenu d'une colonne d'air en vapeur d'eau ( $\text{kg/m}^2$ ) dépassé pendant 20% de l'année



0836-20

FIGURE 21

Contenu d'une colonne d'air en vapeur d'eau ( $\text{kg/m}^2$ ) dépassé pendant 50% de l'année



0836-21