



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجزاء الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلأً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

C.C.I.R.

GENÈVE, 1974

SUPPLÉMENT N° 2 AU RAPPORT 340

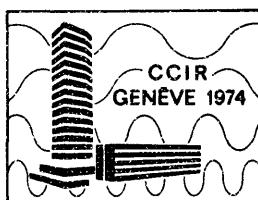
SUPPLEMENT No. 2 TO REPORT 340

SUPLEMENTO N.^o 2 AL INFORME 340

ATLAS C.C.I.R. DES CARACTÉRISTIQUES IONOSPHÉRIQUES

C.C.I.R. ATLAS OF IONOSPHERIC CHARACTERISTICS

ATLAS C.C.I.R. DE LAS CARACTERÍSTICAS IONOSFÉRICAS



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

GENÈVE, 1975

C.C.I.R.

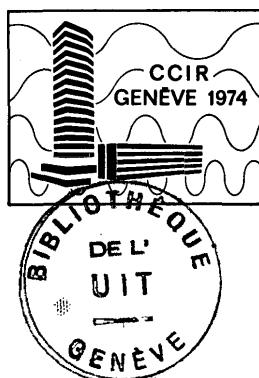
GENÈVE, 1974

SUPPLÉMENT N° 2 AU RAPPORT 340

SUPPLEMENT No. 2 TO REPORT 340

SUPLEMENTO N.º 2 AL INFORME 340

**ATLAS C.C.I.R. DES CARACTÉRISTIQUES IONOSPHERIQUES
C.C.I.R. ATLAS OF IONOSPHERIC CHARACTERISTICS
ATLAS C.C.I.R. DE LAS CARACTERÍSTICAS IONOSFÉRICAS**



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

GENÈVE, 1975

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

Le Rapport 340-2, adopté à l'unanimité se compose:

- du Rapport 340, qui a déjà fait l'objet d'une publication séparée,
- du Supplément N° 2 qui fait l'objet de la présente publication.

Le texte du Supplément N° 1, New Delhi, 1970, est annulé et remplacé par celui du Supplément N° 2 (Genève, 1974).

Report 340-2, adopted unanimously, consists of:

- Report 340, which has already been published as a separate volume,
- Supplement No. 2, which is presented in this publication.

Supplement No. 1, New Delhi, 1970, is cancelled and replaced by Supplement No. 2 (Geneva, 1974).

El Informe 340-2, adoptado por unanimidad, se compone de:

- Informe 340, que se ha publicado ya separadamente,
- Suplemento N.º 2 al Informe 340, objeto de la presente publicación.

El texto del Suplemento N.º 1, Nueva Delhi, 1970, ha sido anulado y reemplazado por el Suplemento N.º 2 (Ginebra, 1974).

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Partie 1. — (Addendum)	9
Partie 2. — Deuxième jeu de coefficients numériques pour foF2	9
Partie 3. — Prévision de la EJF de la couche F1	10
Introduction	10
Détermination de la fréquence critique de la couche F1 (foF1)	10
Détermination de la EJF de la couche F1	11
Partie 4. — Jeu de coefficients numériques pour foEs et fbEs	18
Partie 5. — Relations entre divers indices solaires et ionosphériques	18
Partie 6. — Jeu de coefficients numériques pour la probabilité d'occurrence de F-diffus .	22
Partie 7. — Prévision de foE	22
Partie 8. — Jeu de coefficients numériques pour h'F	24
Partie 9. — Modèle de distribution verticale de la densité électronique dans les régions E et F	24
1. Introduction	24
2. Description détaillée du modèle	24
3. Précision du modèle	25
4. Cartes de hmF2	25
5. Hauteurs de réflexion réelle et virtuelle sous incidence verticale dans le modèle	25

CONTENTS

	Page
Part 1. — (Addendum)	29
Part 2. — Second set of numerical coefficients for foF2	29
Part 3. — Prediction of the F1-layer EJF	30
Introduction	30
Determination of the F1 layer critical frequency	30
Determination of F1 layer EJF	31
Part 4. — Set of numerical coefficients for foEs and fbEs	38
Part 5. — Relationship between various solar and ionospheric indices	38
Part 6. — Numerical coefficients for the percentage of occurrence of spread F	42
Part 7. — Prediction of foE	42
Part 8. — Numerical coefficients for h'F	44
Part 9. — Model of vertical distribution of electron density in E and F regions	44
1. Introduction	44
2. Details of model	44
3. Accuracy of model	45
4. Maps of hmF2	45
5. True and virtual heights of reflection at vertical incidence in model	45

ÍNDICE

	Página
Parte 1. — (Addendum)	49
Parte 2. — Segundo juego de coeficientes numéricos de foF2	49
Parte 3. — Predicción de la EJF de la capa F1	50
Introducción	50
Determinación de la frecuencia crítica de la capa F1	50
Determinación de la EJF de la capa F1	51
Parte 4. — Juego de coeficientes numéricos para foEs y fbEs	58
Parte 5. — Relaciones entre diversos índices solares e ionosféricos	58
Parte 6. — Juego de coeficientes numéricos para la probabilidad de aparición de la capa F difusa	62
Parte 7. — Predicción de foE	62
Parte 8. — Juego de coeficientes numéricos para h'F	64
Parte 9. — Modelo de distribución vertical de la densidad electrónica en las regiones E y F	64
1. Introducción	64
2. Detalles del modelo	64
3. Precisión del modelo	65
4. Mapas de hmF2	65
5. Altura virtual y altura real de reflexión para la propagación con incidencia vertical del modelo	65

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

PARTIE 1

(Addendum)

Dans le Rapport 340, page 10 du texte français, au 4^e alinéa du § 2, *remplacer* la dernière phrase par:

«L'EJF est aussi appelé «MUF normalisée».

Page 12, *ajouter* l'alinéa suivant après l'équation (3):

«Dans les équations (2a), (2b) et (3), $U_{2j,k}$ et $U_{2j-1,k}$ peuvent être exprimés sous la forme $U_{s,k}$ où s correspond à $2j$ ou à $2j-1$. Dans les tableaux 1 à 48, les coefficients des cartes numériques sont donnés en fonction des valeurs de s et k ».

Page 404, après le titre du nomogramme, *ajouter*:

«On considère que la valeur de FOT (fréquence optimale de trafic) est égale à celle de la EJF équivalente».

PARTIE 2

DEUXIÈME JEU DE COEFFICIENTS NUMÉRIQUES POUR foF2

On a remis au Secrétariat du C.C.I.R. un deuxième jeu de coefficients numériques définissant les variations diurnes, géographiques, saisonnières et undécennales (cycle d'activité solaire) de la fréquence critique de la couche F2 (foF2). Ce jeu de coefficients à 5 dimensions (New Delhi, 1970) permet de centrer sur un jour quelconque de l'année les valeurs médianes mensuelles prévues de foF2 [Jones et Obitts, 1970]. Un polynôme du second degré représente les variations undécennales. L'utilisation de ces coefficients est recommandée dans les programmes de prévisions à court terme.

Le premier jeu de coefficients numériques définissant les variations diurnes et géographiques de foF2 (Oslo, 1966) [Jones et autres, 1969] est fondé sur une relation linéaire avec l'activité solaire. L'emploi de ces coefficients est recommandé pour la planification à long terme des fréquences. Le Rapport 340, § 3.5, page 22 (Oslo, 1966) mettait en garde contre l'utilisation de l'Atlas pour les valeurs de R_{12} supérieures à 150. Le niveau d'activité solaire pour lequel la médiane de foF2 semble être saturée dépend de l'emplacement géographique, de l'heure du jour et de la saison, notamment dans l'hémisphère sud où le niveau de saturation semble compris entre $R_{12} = 50$ et $R_{12} = 200$ [Mesterman et autres, 1973].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- JONES, W. B., GRAHAM, R. P. et LEFTIN, M. [1969] Advances in ionospheric mapping by numerical methods. ESSA Technical Report ERL 107-ITS 75 (U.S. Government Printing Office).
- JONES, W. B. et OBITTS, D. L. [1970] Global representation of annual and solar cycle variation of foF2 monthly median 1954-1958. Telecommunications Research Report, OT/ITS/TRR3, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- MESTERMAN, I., FERNANDEZ SARMIENTO, N. et RUBIRO, J. [1973] Variación de la saturación de la EJF en función de R_{12} en América del Sur. Laboratorio Ionosférico de la Armada Argentina, LIARA C-19, Argentine.

PARTIE 3

PRÉVISION DE LA EJF DE LA COUCHE F1

Introduction

On trouvera ci-dessous une méthode de prévision de la médiane mensuelle de la EJF de la couche F1 dans laquelle cette couche est considérée en soi et non dans le cadre d'une extension du système de prévision relatif à la couche E. Les expressions obtenues pour prévoir la fréquence critique de la couche F1 étaient fondées sur les données enregistrées de 1954 à 1966 en 39 stations ionosphériques situées dans les deux hémisphères [Du Charme, Petrie et Eyfrig, 1973]. Les agents en service dans les stations ionosphériques de bien des pays utilisent des méthodes normalisées pour réduire les observations ionosphériques [Pigott et Rawer, 1972]. La EJF de la couche F1 pour un circuit oblique se déduit de la connaissance de la fréquence de pénétration au point milieu du trajet et d'un facteur de EJF de la couche F1, pour la distance appropriée le long de l'arc de grand cercle [Petrie et Stevens, 1965].

Détermination de la fréquence critique de la couche F1 (foF1)

Divers chercheurs [Scott, 1952; Allen, 1948; Ratcliffe et Weekes, 1960] ont signalé que la foF1 varie avec la distance zénithale du Soleil et que l'on peut d'ordinaire représenter son comportement de façon tout à fait précise par la formule:

$$\text{foF1} = f_s \cos^n \chi$$

où $\chi \leq \chi_m$ (valeur maximale de la distance zénithale du Soleil pour laquelle la couche F1 est observée en un lieu donné)

et les paramètres f_s et n dépendent de l'activité solaire et de l'emplacement [Scott, 1952; Harnischmacher, 1950].

Il arrive cependant que les variations diurnes de foF1 en des lieux voisins de l'équateur soient indépendantes de la distance zénithale du Soleil en période d'activité solaire élevée [Lange-Hesse, 1959], mais dépendent des variations des taux photochimiques.

Plusieurs chercheurs [Theissen, 1953; Davies, 1965] ont fourni des indications sur les variations de f_s et de n avec l'activité solaire. On a trouvé [Du Charme, Petrie et Eyfrig, 1973] une relation à peu près linéaire entre les caractéristiques de la couche F1 et divers indices ionosphériques et solaires. D'après Minnis [1955], la représentation de ces paramètres par l'indice ionosphérique I_{F2} est un peu meilleure que par la moyenne glissante sur 12 mois du nombre de Zurich R_{12} . Il convient cependant d'utiliser l'indice R_{12} pour les prévisions relatives à la couche F1, car le C.C.I.R. recommande cet indice pour toutes les prévisions ionosphériques faites plus de 12 mois à l'avance.

Kervin [1967] a signalé des différences dans le comportement de foF1 entre l'Amérique du Nord et l'Europe, mais ces différences sont considérablement réduites du simple fait que l'on représente les données en fonction de la latitude géomagnétique. L'emploi de cette latitude comme coordonnée a conduit à une meilleure représentation des variations de la couche F1 que celui des coordonnées géographiques, de l'inclinaison magnétique, de l'inclinaison magnétique modifiée ou de latitude magnétique invariante [Du Charme, Petrie et Eyfrig, 1973].

Une analyse des valeurs de foF1 montre que cette caractéristique peut, pour toute valeur de R_{12} , se déduire des expressions suivantes:

$$foF1 = f_s \cos^n \chi$$

avec $f_s = f_{s_0} + 0,01 (f_{s_{100}} - f_{s_0}) R_{12}$
 $f_{s_0} = 4,35 + 0,0058 \lambda - 0,000120 \lambda^2$
 $f_{s_{100}} = 5,35 + 0,0110 \lambda - 0,000230 \lambda^2$
 $n = 0,093 + 0,00461 \lambda - 0,0000540 \lambda^2 + 0,00031 R_{12}$
 λ étant la latitude géomagnétique en degrés.

La distance zénithale maximale du Soleil pour laquelle la couche F1 est présente est donnée par les expressions ci-après:

$\chi_m = \chi_0 + 0,01 (\chi_{100} - \chi_0) R_{12}$ (degrés)
 avec $\chi_0 = 50,0 + 0,348 \lambda$
 $\chi_{100} = 38,7 + 0,509 \lambda$

Une carte du monde (page 394 du Rapport 340), un tracé de grands cercles (page 395) et une carte de latitudes géomagnétiques (Fig. 1) faciliteront la détermination des trajets, de la distance le long du grand cercle et des points de réflexion. La connaissance de la latitude géomagnétique au point de réflexion permet de déterminer f_s , n et χ_m pour n'importe quelle valeur de R_{12} en se servant des renseignements contenus dans les Fig. 2 à 4. Le nomogramme de la Fig. 5 permet de déterminer la valeur de $foF1$ d'après celles de f_s , n et χ . Aux pages 397 à 402 du Rapport 340 figurent des diagrammes de la distance zénithale du Soleil pour chaque mois. Le calcul de $foF1$ n'est valable que sous réserve de la condition $\chi \leq \chi_m$.

Détermination de la EJF de la couche F1

La propagation ionosphérique par la couche F1 présente de l'importance pour les distances de 2000 à 3400 km, aux latitudes élevées et moyennes pendant les mois d'été. Pour ces distances de transmission, Petrie et Stevens [1965] ont déterminé des facteurs de EJF de la couche F1 qui permettent de calculer la EJF. Ils ont obtenu ces facteurs au moyen de calculs, par tracé de rayons, de la densité électronique en fonction de profils de hauteur déterminés à partir d'ionogrammes représentatifs pour midi, enregistrés sous des latitudes moyennes et élevées. On admet que ces facteurs sont applicables pour toutes les valeurs de la distance zénithale du Soleil. Le facteur de EJF peut se déduire des expressions numériques suivantes, R_{12} étant compris entre 0 et 150:

Facteur de EJF = $J_0 - 0,01 (J_0 - J_{100}) R_{12}$
 avec $J_0 = 0,16 + 2,64 \times 10^{-3} D - 0,40 \times 10^{-6} D^2$
 $J_{100} = -0,52 + 2,69 \times 10^{-3} D - 0,39 \times 10^{-6} D^2$

D étant la distance le long du grand cercle, en kilomètres (entre 2000 et 3400 km).

Pour les calculs effectués à la main, on peut tirer le facteur EJF de la Fig. 6. La EJF de la couche F1 est égale au produit de la foF1 par le facteur de EJF.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLEN, C. W. [1948] Critical frequencies, sunspots and sun's ultra violet radiation. *Terr. Magn. Atmos. Elect.*, 53, 433-448.
 DAVIES, K. [1965] *Ionospheric radio propagation*. National Bureau of Standards Monograph 80, United States Department of Commerce, Washington.

- DU CHARME, E. D., PETRIE, L. E. et EYFRIG, R. [1973] A method for predicting the F1 layer critical frequency based on the Zurich smoothed sunspot number. *Radio Science*, **8**, 837-839.
- HARNISCHMACHER, E. [1950] L'influence solaire sur la couche E normale de l'ionosphère. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, **230**, 1301.
- KERVIN, C. [1967] Non-Chapman-like behaviour of the F1 layer. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **27**, 1299.
- LANGE-HESSE, G. [1959] Average diurnal variation of the critical frequencies of the F1 layer and their dependence on the geographic latitude and season. *Z. für Geophysik*, **25**, 199.
- MINNIS, C. M. [1955] A new index of solar activity based on ionospheric measurements. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **7**, 301.
- PETRIE, L. E. et STEVENS, E. E. [1965] An F1 layer MUF prediction system for northern latitudes. *IEEE Trans. Ant. and Prop.*, **AP13**, 542.
- PIGGOTT, W. R. et RAWER, K. [1972] *U.R.S.I. Handbook of ionogram interpretation and reduction*. Report UAG-23, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, NOAA, Boulder, Colo., Etats-Unis d'Amérique. Une traduction en espagnol existe à L.I.A.R.A. (Argentine) et une traduction en français au C.N.E.T. (France).
- RATCLIFFE, J. A. et WEEKES, K. [1960] *Physics of the upper atmosphere*. Edited by J. A. Ratcliffe, Chapter 9, Academic Press, New York.
- SCOTT, J. C. W. [1952] The solar control of the E and F1 layers at high latitudes. *J. Geophys. Res.*, **57**, 369.
- THEISSEN, E. [1953] Quelques résultats relatifs à la fréquence critique et au facteur de transmission de la couche ionosphérique F1. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, **A237**, 1104.

BIBLIOGRAPHIE

- PETRIE, L. E. [1968] Developments of HF predictions for the Arctic. Publié dans *Ionospheric Radio Communication*, 263, Plenum Press, New York.

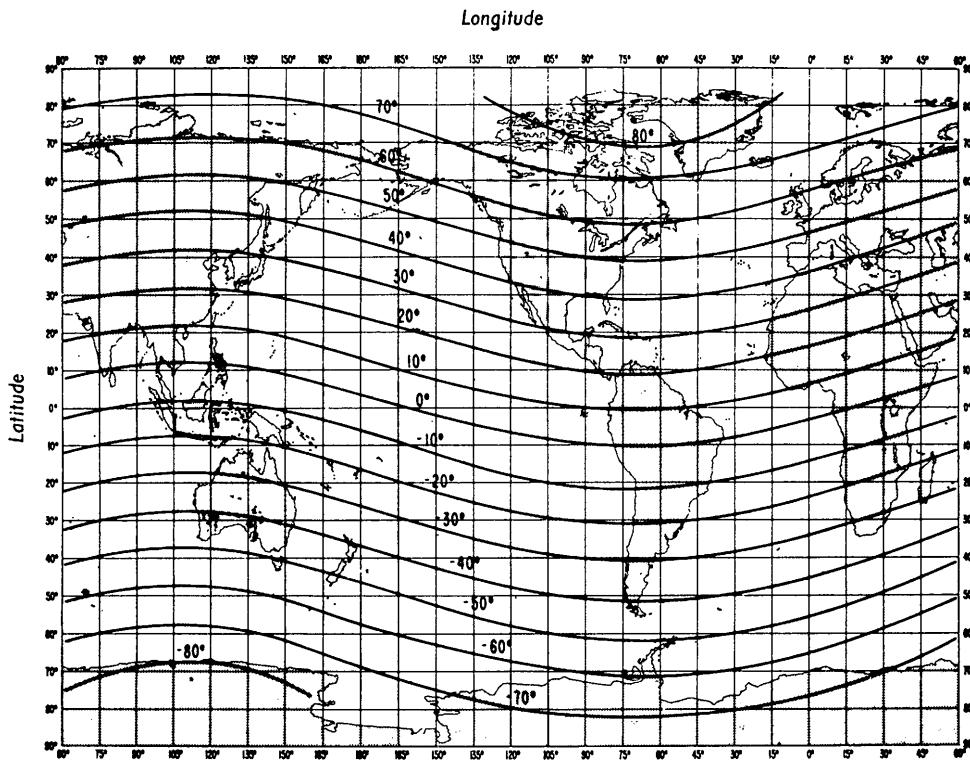


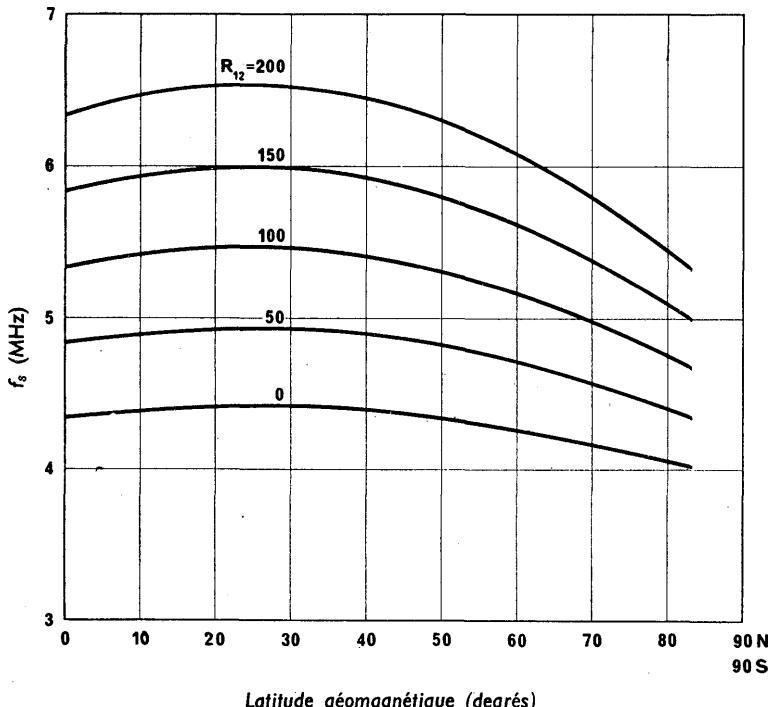
Figure 1

LATITUDES GÉOMAGNÉTIQUES

Cette carte a été établie à partir du champ géomagnétique international de référence pour l'année 1965. (Pôle géomagnétique Nord: 78,8° Nord, 70,0° Ouest et pôle géomagnétique Sud: 78,8° Sud, 110,0° Est.)

Extrait de:

CAMPBELL, W.H. [juin 1972] Introduction to solar terrestrial activity for geomagnetic studies, Part II: The Earth's main field. NOAA Technical Report ERL 244-SEL 23, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.



Latitude géomagnétique (degrés)

Figure 2

VARIATION DE f_s EN FONCTION DE LA LATITUDE GÉOMAGNÉTIQUE ET R_{12}

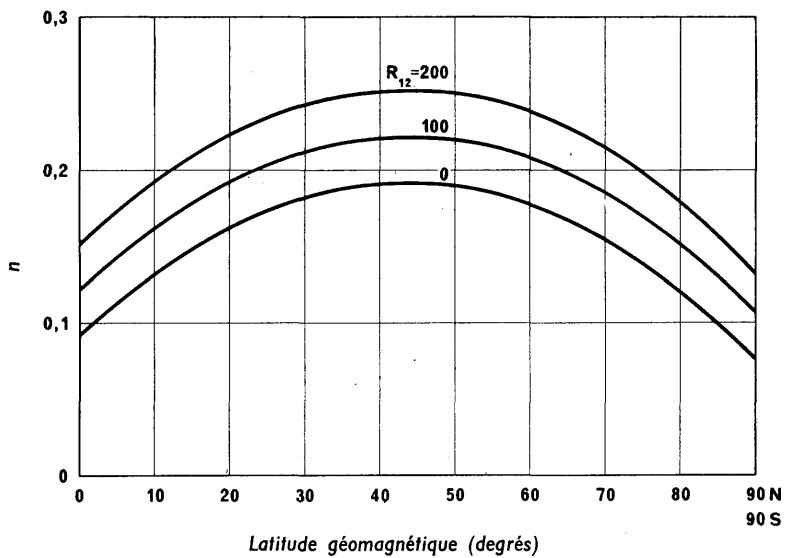


Figure 3

VARIATION DE n EN FONCTION DE LA LATITUDE GÉOMAGNÉTIQUE ET R_{12}

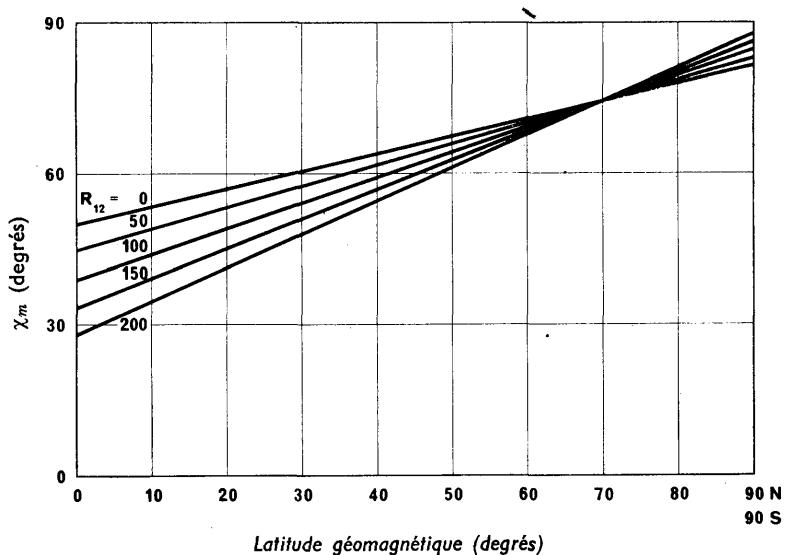


Figure 4

VARIATION DE χ_m EN FONCTION DE LA LATITUDE GÉOMAGNÉTIQUE ET R_{12}

foF1

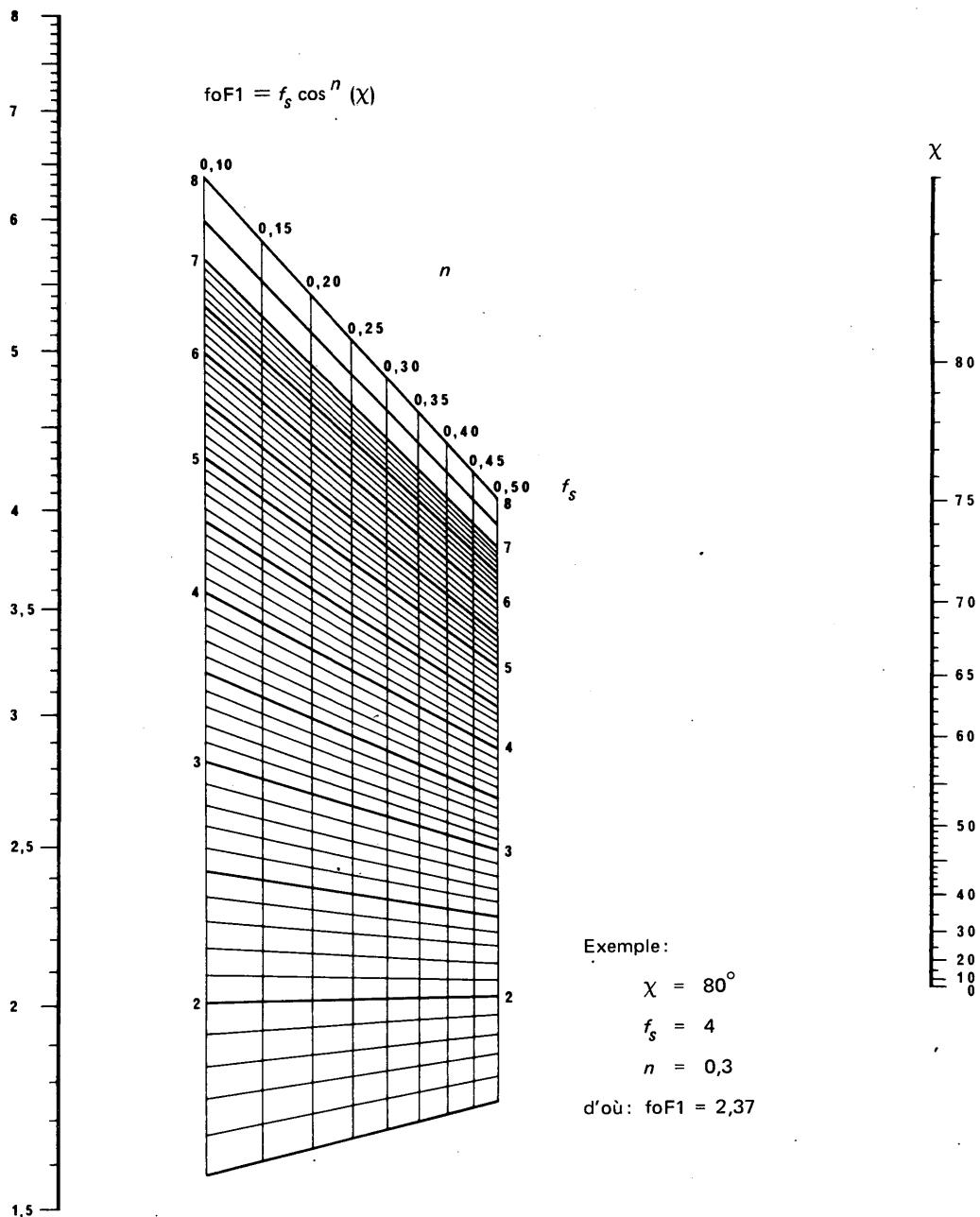


Figure 5

foF1 NOMOGRAMME

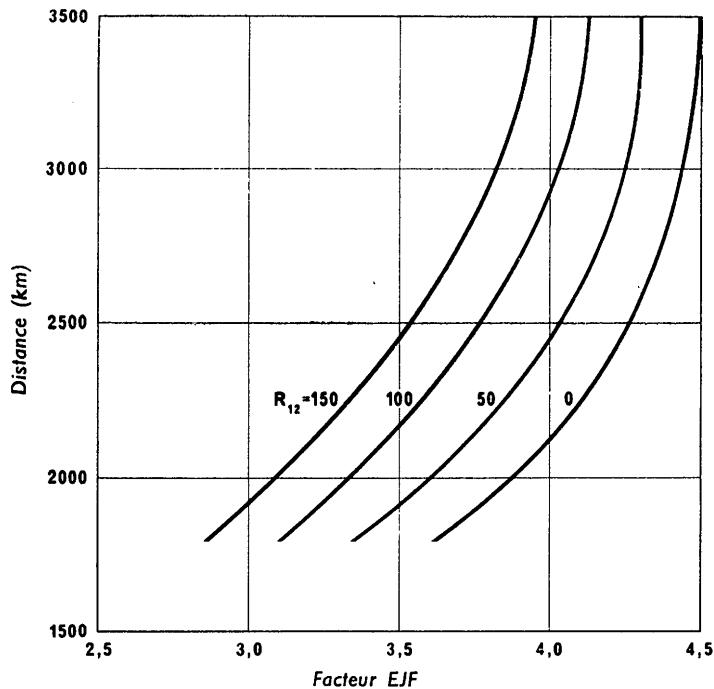


Figure 6
COURBES DU FACTEUR DE DISTANCE RELATIF A LA COUCHE FI

PARTIE 4

JEU DE COEFFICIENTS NUMÉRIQUES POUR foEs ET fbEs

Le Secrétariat du C.C.I.R. dispose d'un jeu de coefficients numériques définissant les variations diurnes, géographiques et saisonnières des valeurs médianes et des déciles inférieur et supérieur de foEs pour une année d'activité solaire minimale et une année d'activité solaire maximale, ainsi que d'un jeu de coefficients numériques définissant les variations des valeurs médianes et des déciles inférieur et supérieur de fbEs (fréquence d'occultation de la couche E sporadique) pour une année d'activité solaire minimale.

BIBLIOGRAPHIE

- LEFTIN, M., OSTROW, S. M. et PRESTON, C. [1968] Numerical maps of foEs for solar cycle minimum and maximum. ESSA Technical Report ERL 73 – ITS 63 (U.S. Government Printing Office).
- LEFTIN, M. et OSTROW, S. M. [1969] Numerical maps fbEs for solar cycle minimum. Essa Technical Report ERL 124 – ITS 87 (U.S. Government Printing Office).

PARTIE 5

RELATIONS ENTRE DIVERS INDICES SOLAIRES ET IONOSPHERIQUES

Les prévisions de caractéristiques ionosphériques du Rapport 340 reposent actuellement sur l'indice solaire R_{12} . Cependant, d'autres indices sont également recommandés pour la prévision des médianes mensuelles pour des dates allant jusqu'à 6 mois à l'avance (voir l'Avis 371-2 et le Rapport 246-3). Les valeurs courantes et les prévisions de ces indices sont publiées régulièrement dans le Journal des télécommunications. L'usage des Fig. 1 à 3 et du Tableau I facilitera l'utilisation de l'Atlas par ceux qui préfèrent employer un indice autre que R_{12} .

BIBLIOGRAPHIE

- JOACHIM, M. [1966] Study of correlation of the three basic indices of ionospheric propagation: R_{12} , I_{F2} and Φ . *Nature*, **210**, 289-290.
- JOACHIM, M. [1966] Un effet d'hystérésis ionosphérique. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, B, **263**, 92–94.
- JOACHIM, M. [1967] L'indice ionosphérique Φ_{F2} . *Journal des télécommunications*, **34**, 354-356.
- JOACHIM, M. et KROUPINE, Y. [1969] Corrélation entre les indices R_{12} et Φ_{F2} relatifs à la propagation ionosphérique. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, B, **269**, 664-665.
- MUGGLETON, L. M. et KOURIS, S. S. [1968] Relation between sunspot number and the ionospheric index I_{F2} . *Radio Science*, **3**, 1109-1110.

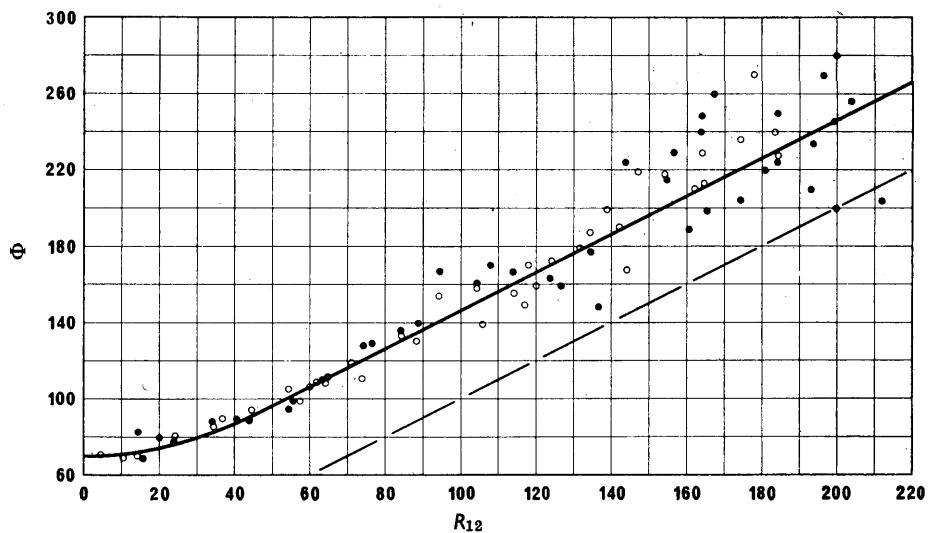


Figure 1
RELATION ENTRE R_{12} ET Φ

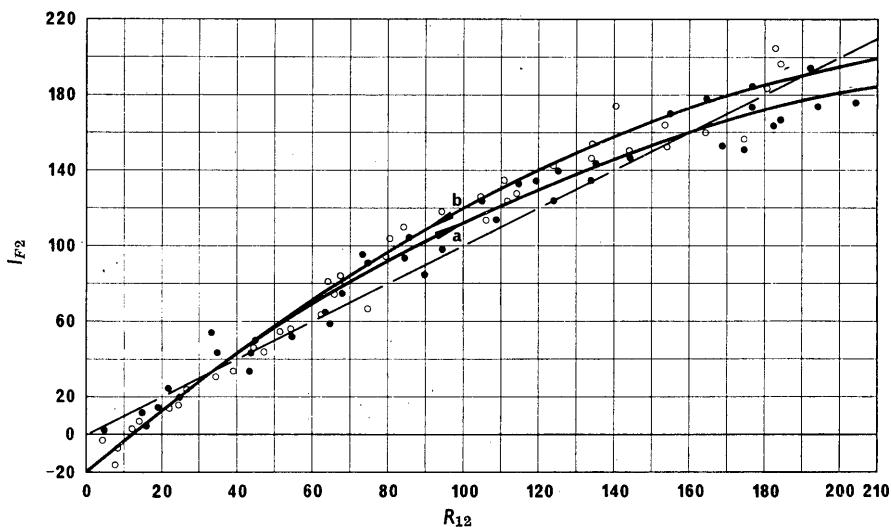


Figure 2
RELATION ENTRE R_{12} ET I_{F2}

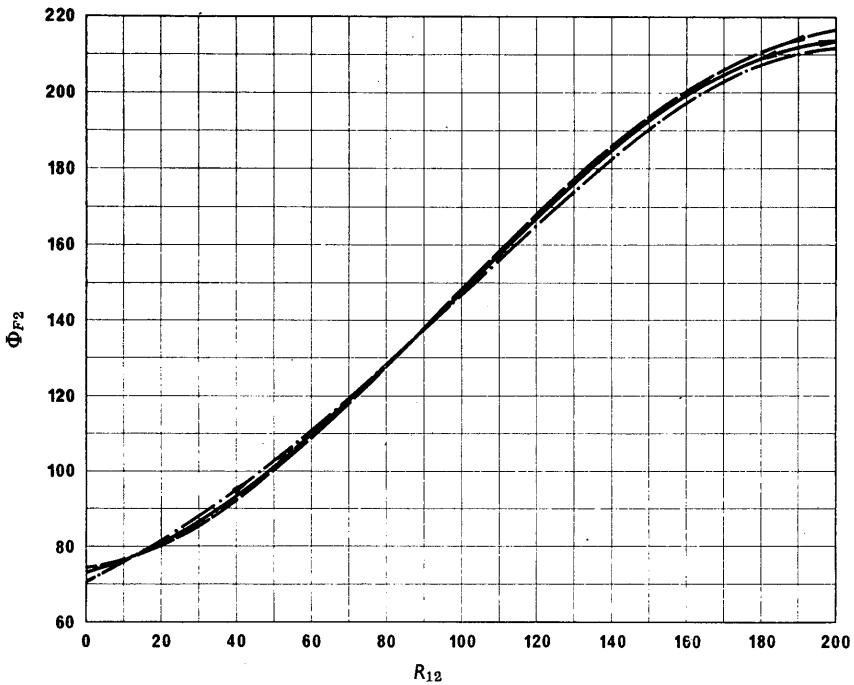


Figure 3
RELATION ENTRE R_{12} ET Φ_{F2}

TABLEAU I

*Relation entre T ,
l'indice ionosphérique utilisé par l'Administration australienne, et R_{12}*

$$T = c + d \cdot R_{12}$$

Mois	Ordonnée à l'origine (c)	Pente (d)
Janvier	-1,58	0,96
Février	0,81	0,94
Mars	-0,65	0,97
Avril	-0,54	0,99
Mai	-0,06	1,00
Juin	0,34	1,01
Juillet	-0,18	1,00
Août	1,19	0,97
Septembre	2,70	0,93
Octobre	1,87	0,93
Novembre	2,45	0,92
Décembre	-0,04	0,96

PARTIE 6

JEU DE COEFFICIENTS NUMÉRIQUES POUR LA PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DE F-DIFFUS

On a déterminé le pourcentage d'occurrence de F-diffus, à partir des données ionosphériques recueillies par le réseau mondial de stations à incidence verticale, pour deux années correspondant respectivement à un niveau élevé et peu élevé de l'activité solaire. Ces données ont été analysées selon la méthode de cartographie numérique de Jones et Gallet, et l'on dispose de coefficients numériques pour tous les mois. On peut se procurer ces coefficients auprès du Secrétariat du C.C.I.R.

PARTIE 7

PRÉVISION DE foE

On trouvera ci-après une méthode de prévision de la médiane mensuelle de foE [Muggleton, 1974], sur la base de toutes les données publiées pour les années 1944-1973, pour 55 stations ionosphériques.

L'expression de foE en MHz est:

$$(foE)^4 = A \ B \ C \ D \quad (1)$$

où A est un facteur d'activité solaire:

$$A = 1 + 0,0094 (\Phi - 66) \quad (2)$$

Φ est la moyenne mensuelle du flux de bruit radioélectrique solaire sur 10,7 cm, exprimé en unités $10^{-22} \text{ W.m}^{-2}.\text{Hz}^{-1}$.

B est un facteur de variation saisonnière:

$$B = \cos^m \chi_{\text{midi}} \quad (3)$$

où χ_{midi} = distance zénithale du Soleil à midi (heure locale). L'exposant m est une fonction de la latitude géographique, λ :

$$m = -1,93 + 1,92 \cos \lambda \text{ pour } |\lambda| < 32^\circ \quad (4a)$$

où $m = 0,11 - 0,49 \cos \lambda \text{ pour } |\lambda| \geq 32^\circ \quad (4b)$

C est le facteur principal de latitude:

$$C = X + Y \cos \lambda \quad (5a)$$

où $X = 23, \quad Y = 116 \quad \text{pour } |\lambda| < 32^\circ \quad (5b)$

et $X = 92, \quad Y = 35 \quad \text{pour } |\lambda| \geq 32^\circ \quad (5c)$

(Le modèle a été soumis à des essais satisfaisants jusqu'à des latitudes de 75° , comprenant la zone aurorale Nord.)

D est un facteur qui tient compte de l'heure du jour:

1^{er} Cas: $\chi' \leq 73^\circ$

$$D = (\cos \chi')^p \quad (6a)$$

où χ' est lié à la distance zénithale du Soleil, χ . Pour $|\lambda| \leq 23^\circ$, $\chi' = \chi$, mais pour $|\lambda| > 23^\circ$, on prend pour χ' la valeur qu'avait χ 0,05 heure plus tôt. Cette correction permet de tenir compte de l'«hystérésis» de l'ionosphère. Pour $|\lambda| \leq 12^\circ$, on a $p = 1,31$; pour $|\lambda| > 12^\circ$, $p = 1,20$.

2^e Cas: $73^\circ < \chi' < 90^\circ$

$$D = \cos^p (\chi' - \delta\chi') \quad (6b)$$

$$\text{où } \delta\chi' = 6,27 \times 10^{-13} (\chi' - 50)^8 \text{ degrés}, \quad (6c)$$

p étant défini comme dans le 1^{er} Cas.

3^e Cas: $\chi' \geq 90^\circ$

On a encore étendu la fonction pour obtenir les valeurs nocturnes de foE, en adaptant une expression aux valeurs données par Piggott et Rawer [1972]. La forme de D , pour les heures de nuit, devient alors, pour $\chi' \geq 90^\circ$:

$$D = (0,077)^p \exp \left\{ -1,68 (T_1 - t) \right\} \text{ de minuit au lever du Soleil} \quad (6d)$$

$$\text{ou } D = (0,077)^p \exp \left\{ -1,01 (t - T_2) \right\} \text{ du coucher du Soleil à minuit} \quad (6e)$$

expressions dans lesquelles t est l'heure locale considérée, T_1 l'heure locale au lever du Soleil ($\chi' = 90^\circ$), et T_2 l'heure locale au coucher du Soleil ($\chi' = 90^\circ$). p a la même valeur que dans le 1^{er} Cas.

La valeur minimale de (foE)⁴, d'après Wakai [1971], est donnée par:

$$(\text{foE})_{\text{minimum}}^4 = 0,017 (1 + 0,0098 Y)^2 \quad (7)$$

où Y est égal à R (moyenne mensuelle du nombre de taches solaires) ou à sa valeur équivalente obtenue à partir de Φ ou I_{F2} . Si (foE)⁴, lorsqu'il est calculé au moyen des équations (1) à (6e), est inférieur à la valeur calculée par l'équation (7), cette dernière valeur devrait être adoptée.

Des essais ayant pour but de vérifier la précision de cette méthode ont fait apparaître un écart type moyen de 0,11 MHz, pour une base de données correspondant à plus de 80 000 comparaisons horaires pour les 55 stations considérées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MUGGLETON, L. M. [1975] A method of predicting foE at any time and place. *Journal des télécommunications*, **42**, 413-418.
- PIGGOTT, W. R. et RAWER, K. [1972] *U.R.S.I. Handbook of ionogram interpretation and reduction*. Report UAG-23, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, NOAA, Boulder, Colo. 80302, Etats-Unis d'Amérique. Une traduction en espagnol existe à L.I.A.R.A. (Argentine) et une traduction en français au C.N.E.T. (France).
- WAKAI, N. [1971] Study on the night-time E-region and its effect on the radio wave propagation. *J. Radio Res. Labs*, Japon, **18**, 245-348.

PARTIE 8

JEU DE COEFFICIENTS NUMÉRIQUES POUR h'F

Des cartes numériques mondiales ont été établies pour représenter la hauteur virtuelle de la base de la région F (en général F2 la nuit, et F1 de jour) pendant une année d'activité solaire maximale et une d'activité minimale. Ces cartes ont été employées, dans le Rapport 252-3, pour déterminer la demi-épaisseur de la région F et la hauteur réelle de réflexion.

On a aussi établi des cartes numériques pour représenter la hauteur virtuelle minimale de la base de la couche F2, de jour comme de nuit, pour les années correspondant au maximum et au minimum d'activité solaire.

Les deux jeux de coefficients sont disponibles au Secrétariat du C.C.I.R.

PARTIE 9

MODÈLE DE DISTRIBUTION VERTICALE DE LA DENSITÉ ÉLECTRONIQUE DANS LES RÉGIONS E ET F

1. Introduction

On a établi un modèle simple de la distribution verticale de la densité électronique dans les régions E et F. Pour ce modèle, ces paramètres ont été déduits des équations empiriques qui les relient aux caractéristiques ionosphériques mesurées selon la méthode classique, à savoir f_{oE} , f_{oF2} , $M(3000)F2$ et $h'F$ ou $h'F2$ en choisissant celle qui représente la hauteur de réflexion virtuelle minimale sur la couche F2. Comme on dispose de valeurs de prévision pour toutes ces caractéristiques, le modèle peut être mis en œuvre pour un emplacement quelconque et pour une heure quelconque. On considère que ce modèle présente un intérêt pratique aussi bien pour les prévisions de la propagation que pour les études sur la morphologie de l'ionosphère.

2. Description détaillée du modèle

Le modèle, élaboré par Bradley et Dudeney [1973] est représenté par la Fig. 1. Il se compose des éléments suivants:

- une couche E parabolique située en dessous de la hauteur de sa densité électronique maximale hmE et ayant une demi-épaisseur ymE . On suppose que la valeur de hmE est constante (110 km) ainsi que celle de ymE (20 km);
- une couche F2 parabolique, caractérisée par une hauteur de densité électronique maximale $hmF2$ et une demi-épaisseur $ymF2$;
- une augmentation linéaire de la densité électronique en fonction de la hauteur, entre hmE et le point de la couche parabolique F2 où la fréquence du plasma f_i est égale à 1,7 f_{oE} .

Les paramètres $hmF2$ et $ymF2$ sont donnés par les équations empiriques suivantes [Bradley et Dudeney, 1973; Eyfrig, 1974]:

$$hmF2 = \frac{1490}{M(3000)F2 + \Delta M} - 176 \quad (1a)$$

avec

$$\Delta M = \frac{0,18}{x - 1,4} + \frac{0,096 (R - 25)}{150} \quad (1b)$$

où l'on prend pour x la plus grande des 2 valeurs: $\frac{f_{\text{ofE}}}{f_{\text{ofF2}}}$ ou 1,7

et R = moyenne glissante du nombre de taches solaires à Zurich pour 12 mois.

$$ymF2 = hmF2 - h'F2 + \Delta h' \quad (2a)$$

où

$$\Delta h' = \left(\frac{0,613}{x - 1,33} \right)^{0,86} \cdot (hmF2 - 104) \quad (2b)$$

$h'F2$ est la hauteur virtuelle minimale observée de réflexion sur la couche F2 (pendant les heures de nuit, cette valeur est égale à $h'F$, défini par l'U.R.S.I.).

3. Précision du modèle

Des comparaisons avec des analyses de la hauteur vraie, à partir d'ionogrammes enregistrés en différents emplacements, heures du jour, saisons et périodes d'activité solaire, confirment que les estimations du modèle, basées sur les valeurs mesurées des caractéristiques ionosphériques à incidence verticale, pour les hauteurs correspondant aux densités électroniques données, sont généralement correctes à 20–30 km près.

4. Cartes de hmF2

La Fig. 2 donne un exemple de carte mondiale de hmF2 déduite de l'équation (1) et basée sur les cartes numériques de prévisions des caractéristiques ionosphériques publiées dans le Rapport 340 initial. On peut établir de la même façon des cartes de ymf2, en appliquant les équations (1) et (2).

5. Hauteurs de réflexion réelle et virtuelle sous incidence verticale dans le modèle

Dans ce modèle, il existe des expressions analytiques de la hauteur de réflexion vraie h , et de la hauteur virtuelle h' pour la propagation sous incidence verticale. Pour une fréquence f telle que:

$$f < f_{\text{ofE}} \text{ avec } \frac{f}{f_{\text{ofE}}} = x_E$$

$$h = hmE - ymE - \sqrt{1 - x_E^2} \quad (3)$$

$$h' = (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \arg \operatorname{th} x_E \quad (4)$$

$$foE \leq f \leq f_j \text{ avec } \frac{f}{f_j} = x_j; x_E \geq 1$$

$$h = hmE + (h_j - hmE) \cdot \frac{x_j^2 \cdot (x_E^2 - 1)}{(x_E^2 - x_j^2)} \quad (5)$$

$$h' = (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \arg \coth x_E + 2(h_j - hmE) \cdot \frac{x_j^2 x_E \sqrt{x_E^2 - 1}}{(x_E^2 - x_j^2)} \quad (6)$$

$$f_j < f \leq foF2 \text{ avec } \frac{f}{foF2} = x_{F2}; x_E > 1; x_J > 1$$

$$h = hmF2 - ymF2 - \sqrt{1 - x_{F2}^2} \quad (7)$$

$$h' = (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \arg \coth x_E + 2(h_j - hmE) \cdot$$

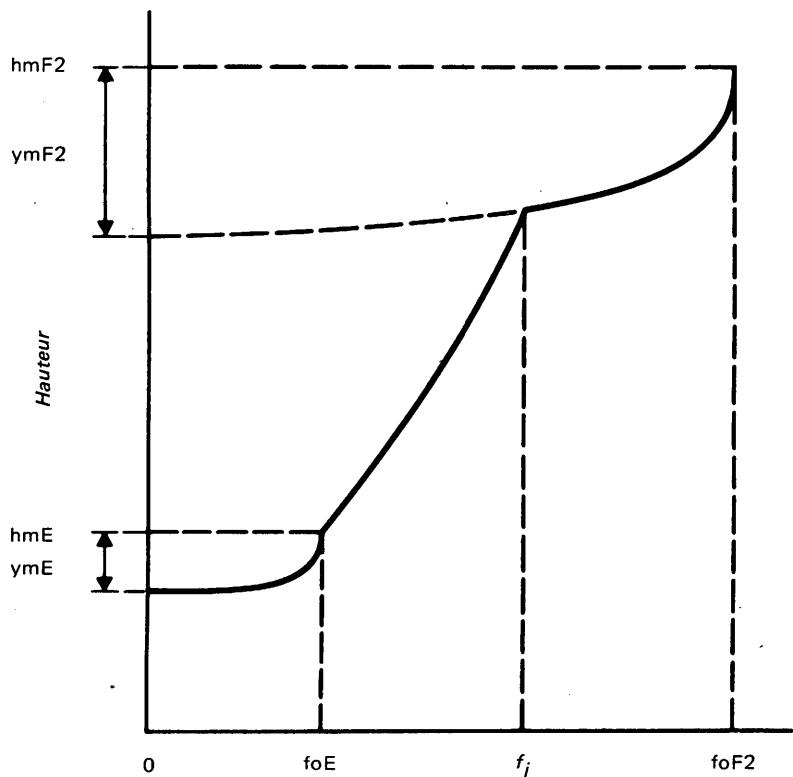
$$\begin{aligned} & \cdot x_J \cdot x_E \left[x_J \sqrt{x_E^2 - 1} - x_E \sqrt{x_J^2 - 1} \right] + \\ & \frac{(x_E^2 - x_J^2)}{+ x_{F2} \cdot ymF2 \cdot \arg \operatorname{ch} \left(\frac{hmF2 - h_j}{ymF2 \sqrt{1 - x_{F2}^2}} \right)} \end{aligned} \quad (8)$$

h_j est la hauteur du point d'intersection des courbes F1 et F2 du modèle correspondant à une fréquence de plasma f_j . Cette valeur est donnée par l'expression:

$$h_j = hmF2 - ymF2 + \sqrt{1 - \left(\frac{f_j}{foF2} \right)^2} \quad (9)$$

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BRADLEY, P. A. et DUDENEY, J. R. [1973] A simple model of the vertical distribution of electron concentration in the ionosphere. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **35**, 2131-2146.
- EYFRIG, R. [1974] Prediction of ionospheric layer-height parameters and oblique-path modes for propagation via the ionosphere in band 7 (HF). Contribution de la République Fédérale d'Allemagne au Groupe de travail intérimaire 6/1, février 1974.



Fréquence de plasma

Figure 1

MODÈLE BRADLEY-DUDENEY

Ce modèle se compose des éléments suivants:

- une couche E parabolique
- une augmentation linéaire de la concentration électronique en fonction de la hauteur dans la région F1
- une couche F2 parabolique

Echelles linéaires pour les ordonnées (hauteur) et les abscisses (fréquence).

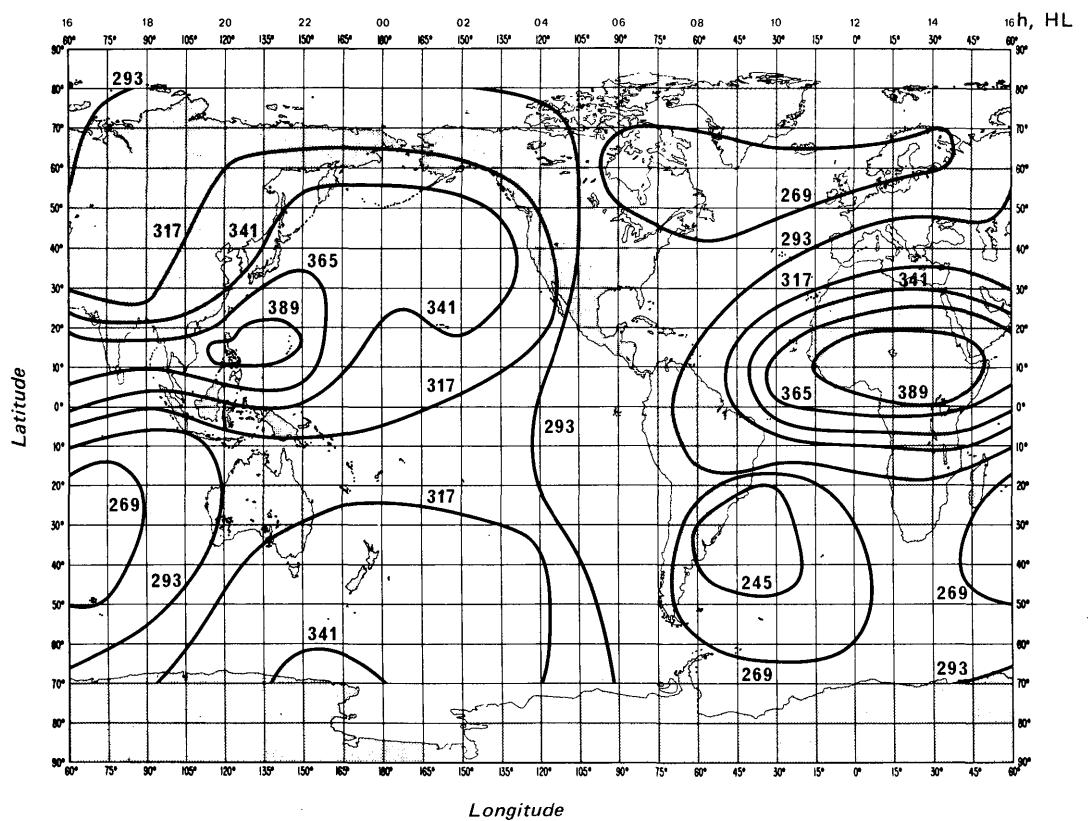


Figure 2

CARTE DE PREVISION DE hmF2 POUR 1200 h (UT) EN JUIN, AVEC $R_{12} = 100$

Hauteurs exprimées en kilomètres

PART 1

(Addendum)

Replace in Report 340, page 18 of the English text, § 2, paragraph 4, the last sentence with:

“The EJF is also called the “standard MUF”.”

Page 20, insert the following after equation (3):

“ $U_{2j,k}$ and $U_{2j-1,k}$ in equations (2a), (2b) and (3) can be written as $U_{s,k}$, where s is either $2j$ or $2j-1$. In Tables 1 to 48, the numerical map coefficients are tabulated according to the values of s and k .”

Page 404, after the title of the nomogram, add:

“It is assumed that the value of FOT (optimum working frequency) is equal to that of the equivalent EJF.”

PART 2

SECOND SET OF NUMERICAL COEFFICIENTS FOR foF2

A second set of numerical coefficients defining the diurnal, geographical, seasonal and solar cycle variations of the critical frequency of the F2 layer (foF2) is available from the C.C.I.R. Secretariat. With this 5-dimensional set of coefficients (New Delhi, 1970), the predicted monthly median values of foF2 can be centred on any given day of the year [Jones and Obitts, 1970]. A second degree polynomial has been used to represent the solar cycle variation. These coefficients are recommended for use in short-term prediction programmes.

The first set of numerical coefficients defining the diurnal and geographical variations of foF2 (Oslo, 1966) [Jones *et al.*, 1969] is based on a linear relationship with solar activity. They are recommended for use for long-term frequency planning purposes. In Report 340, § 3.5, page 22 (Oslo, 1966) users were cautioned in the use of the Atlas when R_{12} exceeds 150. The level of solar activity at which the median foF2 appears to be saturated is a function of geographic location, time of day, and season, particularly in the southern hemisphere where the saturation level ranges from $R_{12} = 50$ to $R_{12} = 200$ [Mesterman *et al.*, 1973].

REFERENCES

- JONES, W.B., GRAHAM, R.P. and LEFTIN, M. [1969] Advances in ionospheric mapping by numerical methods. ESSA Technical Report ERL 107-ITS 75 (U.S. Government Printing Office).
- JONES, W.B. and OBITTS, D.L. [1970] Global representation of annual and solar cycle variation of foF2 monthly median 1954-1958. Telecommunications Research Report, OT/ITS/TRR3, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- MESTERMAN, I., FERNANDEZ SARMIENTO, N. and RUBIRO, J. [1973] Variación de la saturación de la EJF en función de R_{12} en América del Sur. Laboratorio Ionosférico de la Armada Argentina, LIARA C-19, Argentina.

PART 3

PREDICTION OF THE F1-LAYER EJF

Introduction

A method for predicting the monthly median F1-layer EJF is presented in which the F1-layer is considered separately and not as an extension of an E-layer prediction system. The derived expressions for predicting the F1-layer critical frequency were based on data recorded from 1954 to 1966 at 39 ionospheric stations located in both hemispheres [Du Charme, Petrie and Eyfrig, 1973]. The staff at ionospheric stations in many countries use standardised methods for reducing ionospheric observations [Piggott and Rawer, 1972]. The F1-layer EJF for an oblique circuit is determined from a knowledge of the penetration frequency at the midpoint of the path and F1-layer EJF factor for the appropriate great circle distance [Petrie and Stevens, 1965].

Determination of the F1-layer critical frequency

Several research workers [Scott, 1952; Allen, 1948; Ratcliffe and Weekes, 1960] have reported that the F1-layer critical frequency, f_{oF1} , varies with solar zenith angle and its behaviour can usually be represented quite accurately by the equation:

$$f_{oF1} = f_s \cos^n \chi$$

where $\chi \leqslant$ maximum solar zenith angle, χ_m , for which the F1-layer is observed at a given location,

and the parameters f_s and n [Scott, 1952; Harnischmacher, 1950] are dependent on solar activity and location.

However, on some occasions, the diurnal variation of f_{oF1} at locations near the equator is not dependent on the solar zenith angle during periods of high solar activity [Lange-Hesse, 1959] but is dependent on the variations of the photo-chemical rate coefficients.

The variation of the parameters f_s and n with solar activity has been reported by several workers [Theissen, 1953; Davies, 1965]. An approximately linear relationship was found between the F1-layer parameters and various ionospheric and solar indices [Du Charme, Petrie and Eyfrig, 1973]. The ionospheric index I_{F2} [Minnis, 1955] provided a slightly better representation of these parameters than the 12-month smoothed mean value of the Zurich sunspot number, R_{12} . However, the R_{12} index is to be used for the prediction of f_{oF1} because C.C.I.R. recommends this index for all ionospheric predictions for dates more than 12 months in advance.

Kervin [1967] reported differences in behaviour of f_{oF1} for North American and European regions, but these differences are reduced considerably if the data are represented as a function of geomagnetic latitude. The geomagnetic latitude coordinate resulted in a better representation of the F1-layer variations than the geographic, magnetic dip, modified magnetic dip, or magnetic invariant latitude coordinates [Du Charme, Petrie and Eyfrig, 1973].

Analysis of the reported values of f_{oF1} indicates that this parameter can be determined for any value of R_{12} from the following expressions:

$$\text{foF1} = f_s \cos^n \chi$$

where $f_s = f_{s_0} + 0.01 (f_{s_{100}} - f_{s_0}) R_{12}$
 $f_{s_0} = 4.35 + 0.0058 \lambda - 0.000120 \lambda^2$
 $f_{s_{100}} = 5.35 + 0.0110 \lambda - 0.000230 \lambda^2$
 $n = 0.093 + 0.00461 \lambda - 0.0000540 \lambda^2 + 0.00031 R_{12}$

and where λ represents geomagnetic latitude in degrees.

The maximum solar zenith angle at which the F1 layer is present is given by the following expressions:

$$\chi_m = \chi_0 + 0.01 (\chi_{100} - \chi_0) R_{12} \text{ (degrees)}$$

where $\chi_0 = 50.0 + 0.348 \lambda$
 $\chi_{100} = 38.7 + 0.509 \lambda$

A world map and a great circle chart (see Report 340, pp. 394 and 395 respectively) and a map of geomagnetic latitude (Fig. 1) are provided to facilitate determination of path locations, great circle distance and reflection points. From a knowledge of the geomagnetic latitude at the reflection point, the parameters f_s , n and χ_m can be determined for any value of R_{12} using information in Figs. 2, 3 and 4. Using the nomogram in Fig. 5, the value of foF1 can be determined from a knowledge of f_s , n and χ . Charts of the zenith angle of the Sun for each month are presented (see Report 340, pp. 397-402). The calculation of foF1 is valid only for the condition $\chi \leq \chi_m$.

Determination of F1-layer EJF

Ionospheric propagation via the F1 layer is important for transmission distances in the 2000-3400 km range at mid and high latitudes during the summer months. For these transmission distances, F1-layer EJF factors have been derived [Petrie and Stevens, 1965] for calculating the EJF. The factors were derived from ray tracing calculations on electron density versus height profiles obtained from representative noon ionograms recorded at mid and high latitudes. It is assumed that these factors are applicable for all solar zenith angles. The EJF factor can be determined from the following numerical expressions for R_{12} between 0 to 150:

$$\text{EJF factor} = J_0 - 0.01 (J_0 - J_{100}) R_{12}$$

where $J_0 = 0.16 + 2.64 \times 10^{-3} D - 0.40 \times 10^{-6} D^2$
 $J_{100} = -0.52 + 2.69 \times 10^{-3} D - 0.39 \times 10^{-6} D^2$

and where D represents the great circle distance in kilometres in the range 2000 to 3400 km.

For manual computations the EJF factor can be selected from Fig. 6. The F1-layer EJF is computed by multiplying the foF1 by the EJF factor.

REFERENCES

- ALLEN, C.W. [1948] Critical frequencies, sunspots and sun's ultra violet radiation. *Terr. Magn. Atmos. Elect.*, 53, 433-448.
DAVIS, K. [1965] *Ionospheric radio propagation*. National Bureau of Standards Monograph 80, United States Department of Commerce, Washington.

- DU CHARME, E.D., PETRIE, L.E. and EYFRIG, R. [1973] A method for predicting the F1 layer critical frequency based on the Zurich smoothed sunspot number. *Radio Science*, **8**, 837-839.
- HARNISCHMACHER, E. [1950] L'influence solaire sur la couche E normale de l'ionosphère. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, **230**, 1301.
- KERVIN, C. [1967] Non-Chapman-like behaviour of the F1 layer. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **27**, 1299.
- LANGE-HESSE, G. [1959] Average diurnal variation of the critical frequencies of the F1 layer and their dependence on the geographic latitude and season. *Z. für Geophysik*, **25**, 199.
- MINNIS, C.M. [1955] A new index of solar activity based on ionospheric measurements. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **7**, 301.
- PETRIE, L.E. and STEVENS, E.E. [1965] An F1 layer MUF prediction system for northern latitudes. *IEEE Trans. Ant. and Prop.*, **AP13**, 542.
- PIGGOTT, W.R. and RAWER, K. [1972] *U.R.S.I. Handbook of ionogram interpretation and reduction*. Report UAG-23, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, NOAA, Boulder, Colo., U.S.A. Spanish text available from L.I.A.R.A. (Argentina), and French text available from C.N.E.T. (France).
- RATCLIFFE, J.A. and WEEKES, K. [1960] *Physics of the upper atmosphere*. Edited by J.A. Ratcliffe, Chapter 9, Academic Press, New York.
- SCOTT, J.C.W. [1952] The solar control of the E and F1 layers at high latitudes. *J. Geophys. Res.*, **57**, 369.
- THEISSEN, E. [1953] Quelques résultats relatifs à la fréquence critique et au facteur de transmission de la couche ionosphérique F1. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, **A237**, 1104.

BIBLIOGRAPHY

- PETRIE, L.E. [1968] Developments of HF predictions for the Arctic. Published in *Ionospheric Radio Communication*, 263, Plenum Press, New York.

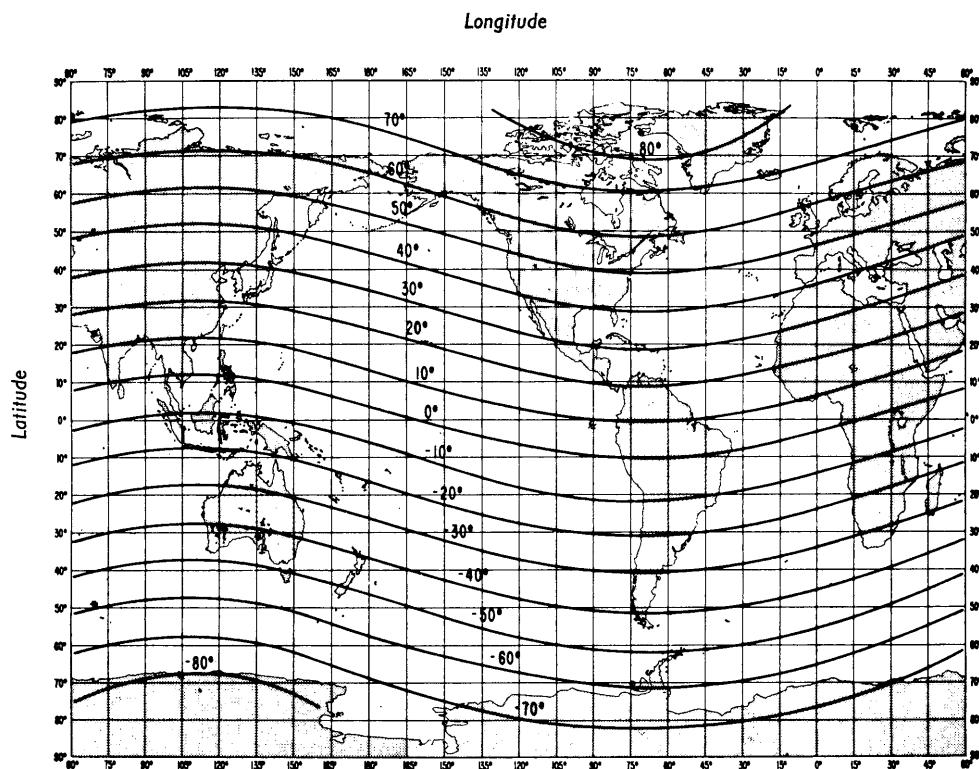


Figure 1

GEO MAGNETIC LATITUDES

This map was based on the 1965 IGRF (International Geomagnetic Reference Field). For this epoch, the North Geomagnetic Pole is located at 78.8°N, 70.0°W and the South Geomagnetic Pole is located at 78.8°S, 110.0°E.

Extracted from:

CAMPBELL, W.H. [June, 1972] Introduction to solar terrestrial activity for geomagnetic studies, Part II: The Earth's main field. NOAA Technical Report ERL 244-SEL 23, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

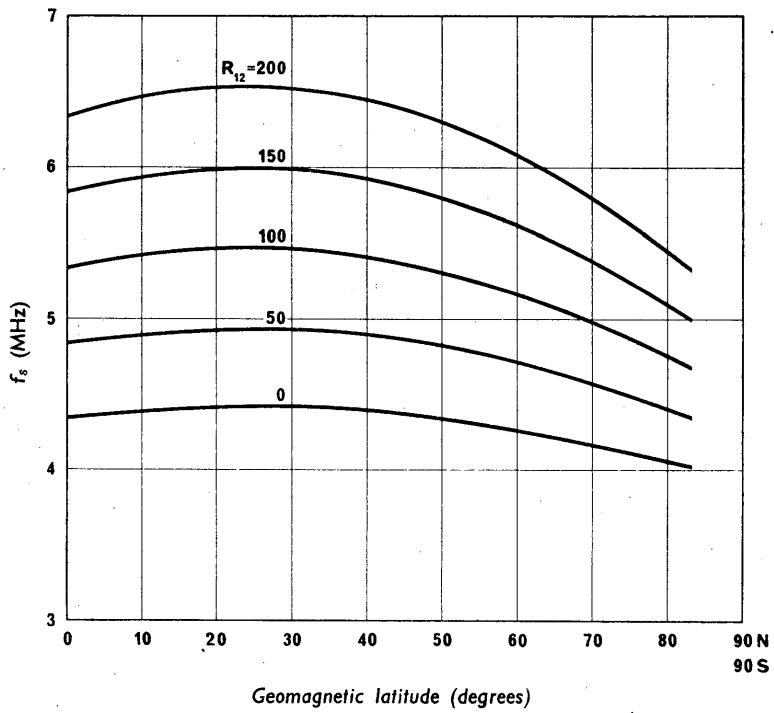


Figure 2
VARIATION OF f_s WITH GEOMAGNETIC LATITUDE AND R_{12}

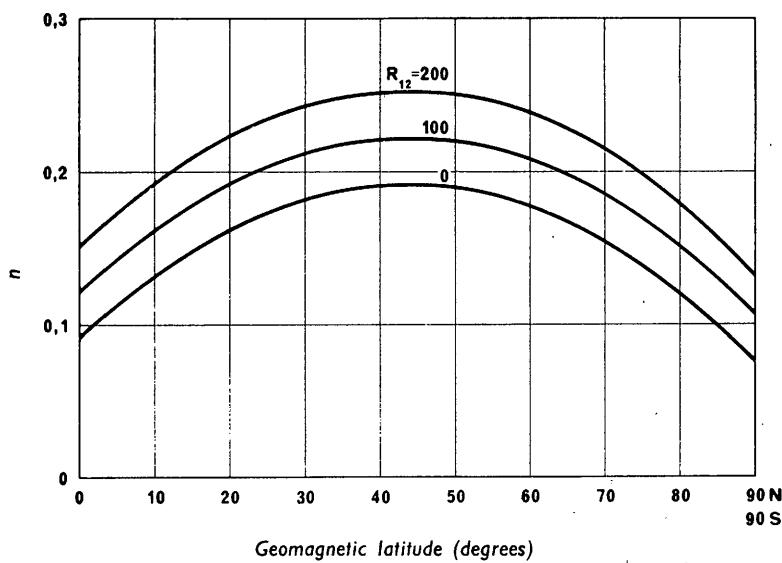


Figure 3
VARIATION OF n WITH GEOMAGNETIC LATITUDE AND R_{12}

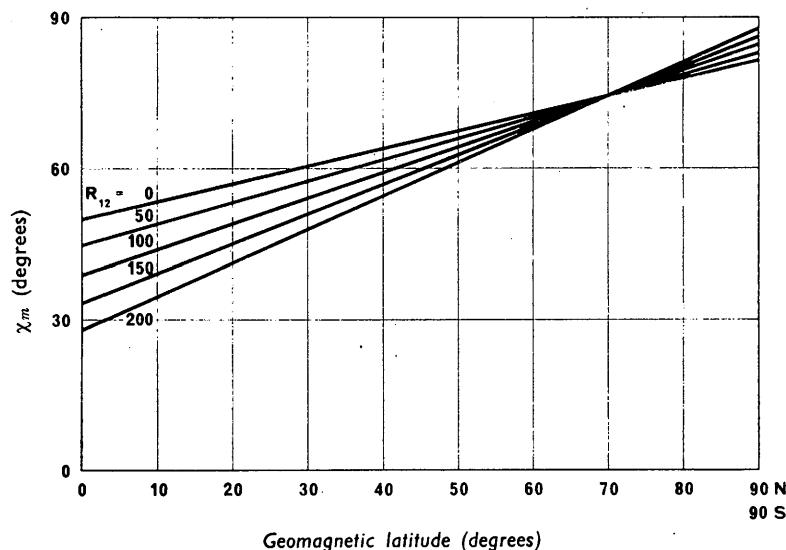


Figure 4
VARIATION OF χ_m WITH GEOMAGNETIC LATITUDE AND R_{12}

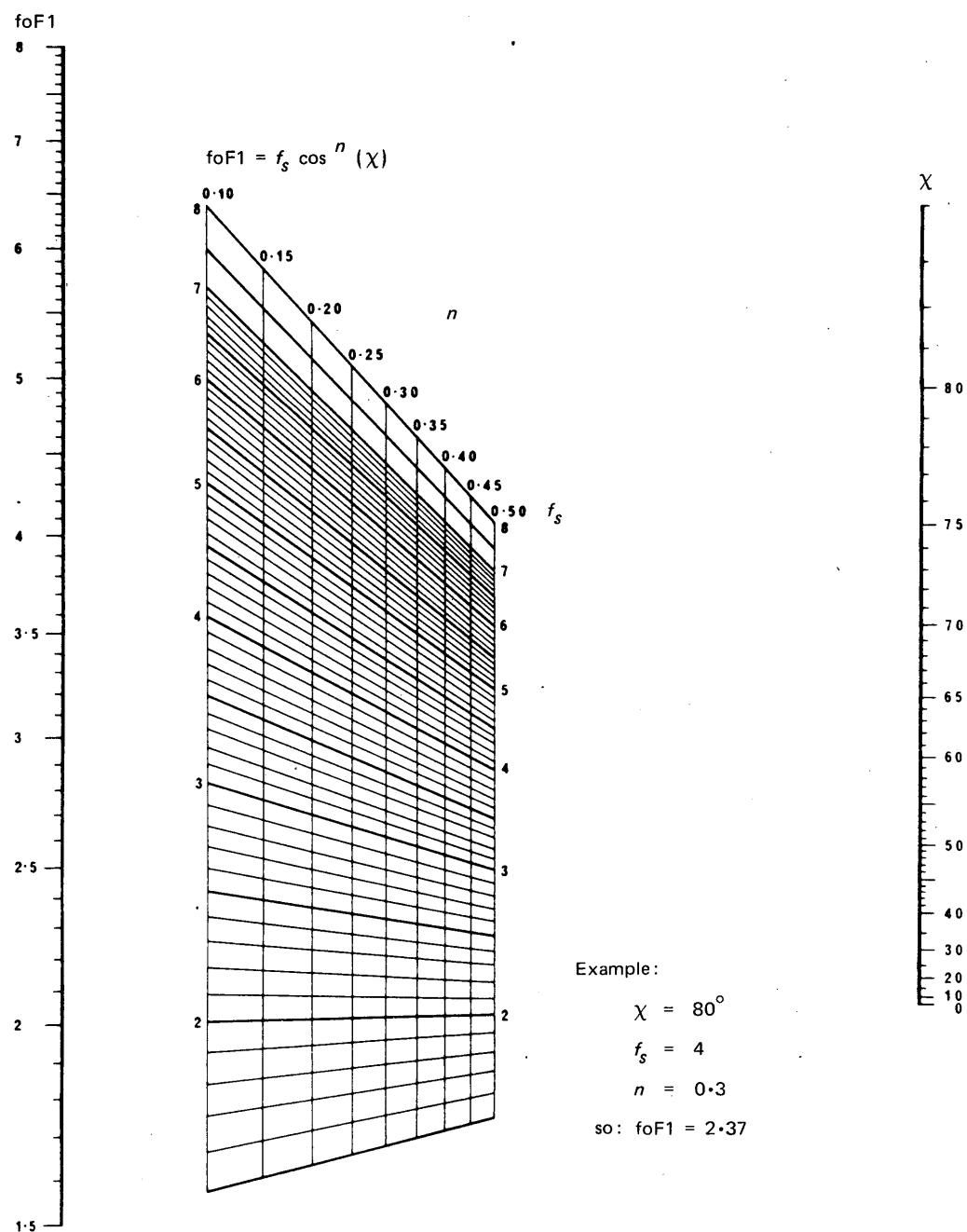


Figure 5

foF1 NOMOGRAM

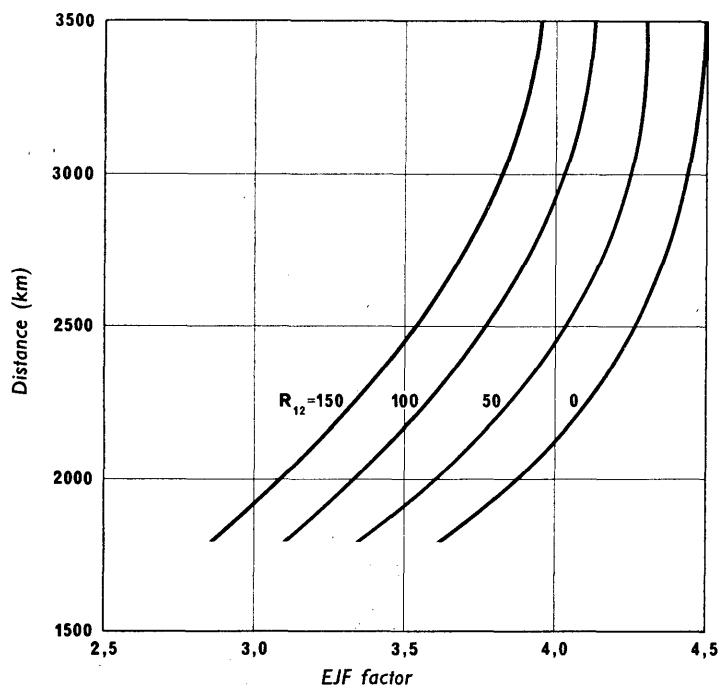


Figure 6
DISTANCE FACTOR CURVES FOR THE F1 LAYER

PART 4

SET OF NUMERICAL COEFFICIENTS FOR foEs AND fbEs

A set of numerical coefficients defining the diurnal, geographical and seasonal variations of the medians and upper and lower deciles of the foEs for a year of minimum and one of maximum solar activity, and a set of numerical coefficients defining the variations of the medians and upper and lower deciles of the fbEs (blanketing sporadic E) for a year of minimum solar activity are available from the C.C.I.R. Secretariat.

BIBLIOGRAPHY

- LEFTIN, M., OSTROW, S.M. and PRESTON, C. [1968] Numerical maps of foEs for solar cycle minimum and maximum. ESSA Technical Report ERL 73-ITS 63 (U.S. Government Printing Office).
- LEFTIN, M. and OSTROW, S.M. [1969] Numerical maps of fbEs for solar cycle minimum. ESSA Technical Report ERL 124-ITS 87 (U.S. Government Printing Office).

PART 5

RELATIONSHIP BETWEEN VARIOUS SOLAR AND IONOSPHERIC INDICES

The predictions of ionospheric characteristics in Report 340 are at present based on the R_{12} solar index. However, other indices are also recommended for use in predicting monthly median values for dates up to six months ahead (Recommendation 371-2 and Report 246-3). The current values and predictions of these indices are published regularly in the I.T.U. Telecommunication Journal. To facilitate use of the Atlas when other indices than R_{12} are preferred, Figs. 1-3 and Table I can be used.

BIBLIOGRAPHY

- JOACHIM, M. [1966] Study of correlation of the three basic indices of ionospheric propagation: R_{12} , I_{F2} and Φ . *Nature*, **210**, 289-290.
- JOACHIM, M. [1966] Un effet d'hystérésis ionosphérique. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, B, **263**, 92-94.
- JOACHIM, M. [1967] The ionospheric index Φ_{F2} . *Telecommunication Journal*, **34**, 354-356.
- JOACHIM, M. and KRUPIN, Y. [1969] Corrélation entre les indices R_{12} et Φ_{F2} relatifs à la propagation ionosphérique. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, B, **269**, 664-665.
- MUGGLETON, L.M. and KOURIS, S.S. [1968] Relation between sunspot number and the ionospheric index I_{F2} . *Radio Science*, **3**, 1109-1110.

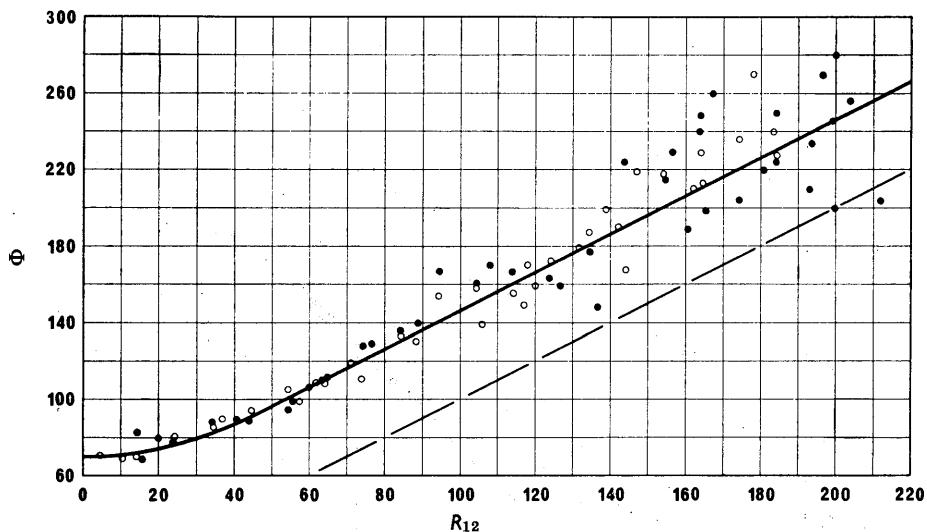


Figure 1
RELATIONSHIP BETWEEN R_{12} AND Φ

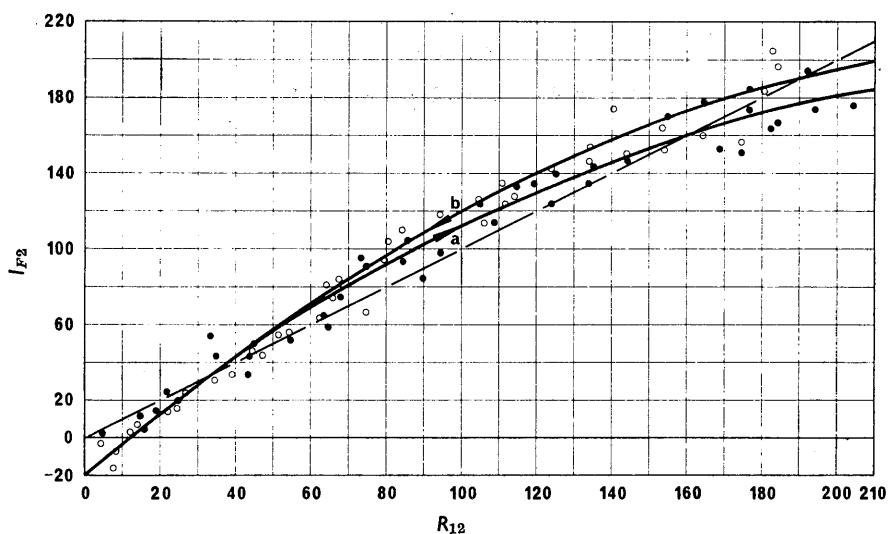


Figure 2
RELATIONSHIP BETWEEN R_{12} AND I_{F2}

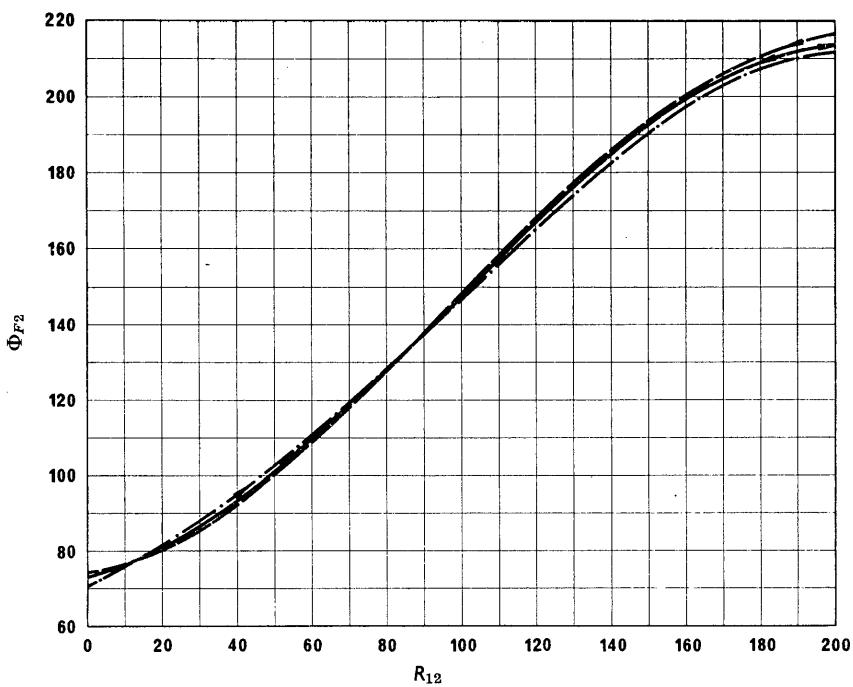


Figure 3
RELATIONSHIP BETWEEN R_{12} AND Φ_{F2}

TABLE I

*Relation between T ,
the ionospheric index used by the Australian Administration, and R_{12}*

$$T = c + d \cdot R_{12}$$

Month	Intercept (c)	Slope (d)
January	-1.58	0.96
February	0.81	0.94
March	-0.65	0.97
April	-0.54	0.99
May	-0.06	1.00
June	0.34	1.01
July	-0.18	1.00
August	1.19	0.97
September	2.70	0.93
October	1.87	0.93
November	2.45	0.92
December	-0.04	0.96

PART 6

NUMERICAL COEFFICIENTS FOR THE PERCENTAGE OF OCCURRENCE OF SPREAD-F

The percentage of occurrence of spread-F has been determined from the ionospheric data for the world net of vertical incidence stations for two years, representing high and low solar activity. The Jones and Gallet numerical mapping technique was used to analyze the data and numerical coefficients are available for all months. The coefficients are available from the C.C.I.R. Secretariat.

PART 7

PREDICTION OF foE

A method for predicting the monthly median foE is given [Muggleton, 1974] based on all published data over the years 1944 – 1973 from 55 ionospheric stations:

With foE expressed in MHz

$$(foE)^4 = A \ B \ C \ D \quad (1)$$

where A is a solar activity factor, given as

$$A = 1 + 0.0094 (\Phi - 66) \quad (2)$$

Φ is the monthly mean 10.7 cm solar radio-noise flux expressed in units of $10^{-22} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$.

B is a seasonal factor, given as

$$B = \cos^m \chi_{\text{noon}} \quad (3)$$

where χ_{noon} = solar-zenith angle at local noon. The exponent m is a function of geographic latitude, λ :

$$m = -1.93 + 1.92 \cos \lambda \text{ for } |\lambda| < 32^\circ \quad (4a)$$

or $m = 0.11 - 0.49 \cos \lambda \text{ for } |\lambda| \geq 32^\circ \quad (4b)$

C is the main latitude factor, given as

$$C = X + Y \cos \lambda \quad (5a)$$

where $X = 23, \quad Y = 116 \quad \text{for } |\lambda| < 32^\circ \quad (5b)$

and $X = 92, \quad Y = 35 \quad \text{for } |\lambda| \geq 32^\circ \quad (5c)$

(The model has been tested satisfactorily up to latitudes of 75° including North auroral zone.)

D is the time-of-day factor.

1st Case: $\chi' \leq 73^\circ$

$$D = (\cos \chi')^p \quad (6a)$$

where χ' is related to the solar-zenith angle χ . For $|\lambda| \leq 23^\circ$, $\chi' = \chi$, but for $|\lambda| > 23^\circ$, χ' is taken to be the value of χ at a time 0.05 hours earlier. This correction allows for the "sluggish" nature of the ionosphere. For $|\lambda| \leq 12^\circ$, $p = 1.31$; for $|\lambda| > 12^\circ$, $p = 1.20$.

2nd Case: $73^\circ < \chi' < 90^\circ$

$$D = \cos^p (\chi' - \delta\chi') \quad (6b)$$

$$\text{where } \delta\chi' = 6.27 \times 10^{-13} (\chi' - 50)^8 \text{ degrees} \quad (6c)$$

and p is as in the 1st Case.

3rd Case: $\chi' \geq 90^\circ$

The function has been further extended to provide night-time foE by fitting an expression to values given by Piggott and Rawer [1972]. The night-time form of D then becomes, for $\chi' \geq 90^\circ$:

$$D = (0.077)^p \exp \left\{ -1.68 (T_1 - t) \right\} \text{ from midnight to dawn} \quad (6d)$$

or

$$D = (0.077)^p \exp \left\{ -1.01 (t - T_2) \right\} \text{ from sunset to midnight} \quad (6e)$$

where t is the local time of interest, T_1 is the local time at dawn ($\chi' = 90^\circ$), and T_2 is the local time at sunset ($\chi' = 90^\circ$), all expressed in hours. p has the same value as in the 1st Case.

The minimum value of (foE)⁴, following Wakai [1971], is given by:

$$(\text{foE})^4_{\text{minimum}} = 0.017 (1 + 0.0098 Y)^2 \quad (7)$$

where Y is equal to R (monthly mean sunspot number) or its equivalent value obtained from Φ or I_{F2} . If (foE)⁴, when calculated by equations (1) to (6e), is less than that calculated by equation (7), the latter value should be assumed.

Tests of the accuracy of the prediction method give for a data base of over 80 000 hourly comparisons for the 55 stations a median r.m.s. deviation of 0.11 MHz.

REFERENCES

- MUGGLETON, L.M. [1975] A method of predicting foE at any time and place. *Telecommunication Journal*, **42**, 413-418.
- PIGGOTT, W.R. and RAWER, K. [1972] *U.R.S.I. Handbook of ionogram interpretation and reduction*. Report UAG-23, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, NOAA, Boulder, Colorado 80302, U.S.A. Spanish text available from L.I.A.R.A. (Argentina) and French text available from C.N.E.T. (France).
- WAKAI, N. [1971] Study on the night-time E region and its effect on the radio wave propagation. *J. Radio Res. Labs.*, Japan, **18**, 245-348.

PART 8

NUMERICAL COEFFICIENTS FOR $h'F$

Numerical maps have been developed to represent the minimum virtual height of the bottom of the F region (generally, the F2 layer at night and F1 layer in the daytime) for years of maximum and minimum solar activity. These world maps are used in Report 252-3 in the determination of the semi-thickness of the F region and the true height of reflection.

Numerical maps have also been developed to represent the minimum virtual height of the bottom of the F2 layer both at night and in the daytime for years of maximum and minimum solar activity.

Both sets of coefficients are available from the C.C.I.R. Secretariat.

PART 9

MODEL OF VERTICAL DISTRIBUTION OF ELECTRON DENSITY IN THE E AND F REGIONS

1. Introduction

A simple model has been produced of the vertical distribution of electron density in the E and F regions. The model parameters are deduced from empirical equations relating them to the conventionally measured ionospheric characteristics foE , $foF2$, $M(3000)F2$ and either $h'F$ or $h'F2$ as appropriate, whichever is the minimum virtual height of reflection from the F2 layer. Since predicted values of all these characteristics are available, the model may be generated for any place and time. The model is considered as having practical value, both for propagation predictions and for ionospheric morphological investigations.

2. Details of model

The model, produced by Bradley and Dudeney [1973], is given in Fig. 1. It consists of:

- a parabolic E-layer below its height of maximum electron density hmE , with semi-thickness ymE . hmE is taken as constant at 110 km and ymE as 20 km;
- a parabolic F2-layer with height of maximum electron density $hmF2$ and semi-thickness $ymF2$;
- a linear increase of electron density with height between hmE and the point on the parabolic F2-layer where the plasma frequency f_p is 1.7 foE .

The model parameters $hmF2$ and $ymF2$ are given from the empirical equations [Bradley and Dudeney, 1973; Eyfrig, 1974]:

$$hmF2 = \frac{1490}{M(3000)F2 + \Delta M} - 176 \quad (1a)$$

with $\Delta M = \frac{0.18}{x - 1.4} + \frac{0.096(R - 25)}{150}$ (1b)

where $x = \frac{f_{oF2}}{f_{oE}}$ or 1.7, whichever is the larger

and R = twelve-month smoothed Zurich sunspot number.

$$ymF2 = hmF2 - h'F2 + \Delta h' \quad (2a)$$

where $\Delta h' = \left(\frac{0.613}{x - 1.33} \right)^{0.86} \cdot (hmF2 - 104)$ (2b)

$h'F2$ is the minimum observed virtual height of reflection from the F2-layer. (During the night-time hours this is equal to $h'F$ as defined by U.R.S.I.)

3. Accuracy of model

Comparisons with true-height analyses of sample ionograms recorded at different locations, times of day, season and solar epoch confirm that the model estimates, based on measured values of vertical-incidence ionospheric characteristics, of the heights corresponding to given electron densities, are usually correct to within 20–30 km.

4. Maps of hmF2

Fig. 2 gives a sample world map of hmF2 deduced from equation (1) and based on the numerical prediction maps of ionospheric characteristics of the initial Report 340. Maps of $ymF2$ may be produced in a similar manner using equations (1) and (2).

5. True and virtual heights of reflection at vertical incidence in model

Analytical expressions exist for the true and virtual heights of reflection, h and h' respectively, for propagation at vertical incidence in this model. For a frequency f given as:

$$f < f_{oE} \text{ with } \frac{f}{f_{oE}} = x_E$$

$$h = hmE - ymE - \sqrt{1 - x_E^2} \quad (3)$$

$$h' = (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \operatorname{arc tanh} x_E \quad (4)$$

$$f_{oE} \leq f \leq f_J \text{ with } \frac{f}{f_J} = x_J ; x_E \geq 1$$

$$h = hmE + (h_J - hmE) \cdot \frac{x_J^2 \cdot (x_E^2 - 1)}{(x_E^2 - x_J^2)} \quad (5)$$

$$h' = (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \operatorname{arc coth} x_E + 2(h_J - hmE) \cdot \frac{x_J^2 x_E \sqrt{x_E^2 - 1}}{(x_E^2 - x_J^2)} \quad (6)$$

$$f_j < f \leq foF2 \text{ with } \frac{f}{foF2} = x_{F2}; x_E > 1; x_j > 1$$

$$h = hmF2 - ymF2 - \sqrt{1 - x_{F2}^2} \quad (7)$$

$$h' = (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \operatorname{arc} \coth x_E + 2(h_j - hmE) \cdot$$

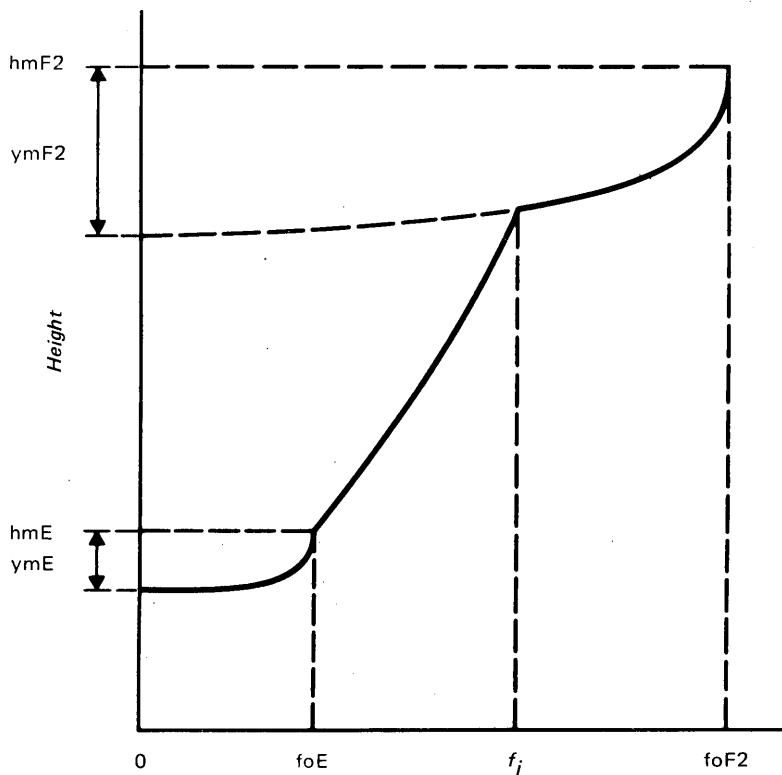
$$\begin{aligned} & \cdot \frac{x_j \cdot x_E \left[x_j \sqrt{x_E^2 - 1} - x_E \sqrt{x_j^2 - 1} \right]}{(x_E^2 - x_j^2)} + \\ & + x_{F2} \cdot ymF2 \cdot \operatorname{arc} \cosh \left(\frac{hmF2 - h_j}{ymF2 \sqrt{1 - x_{F2}^2}} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

h_j is the height of intersection of the F1 and F2 portions of the model corresponding to a plasma frequency f_j . It is given by:

$$h_j = hmF2 - ymF2 + \sqrt{1 - \left(\frac{f_j}{foF2} \right)^2} \quad (9)$$

REFERENCES

- BRADLEY, P.A. and DUDENEY, J.R. [1973] A simple model of the vertical distribution of electron concentration in the ionosphere. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **35**, 2131-2146.
 EYFRIG, R. [1974] Prediction of ionospheric layer-height parameters and oblique-path modes for propagation via the ionosphere in band 7 (HF). Contribution to Interim Working Party 6/1 from the Federal Republic of Germany, February 1974.



Plasma frequency

Figure 1

THE MODEL

This consists of:

- a parabolic E layer,
- a linear increase of electron-concentration with height in the F1 region,
and
- a parabolic F2 layer.

The ordinate scale is taken as being linear in height and the abscissa as linear in frequency.

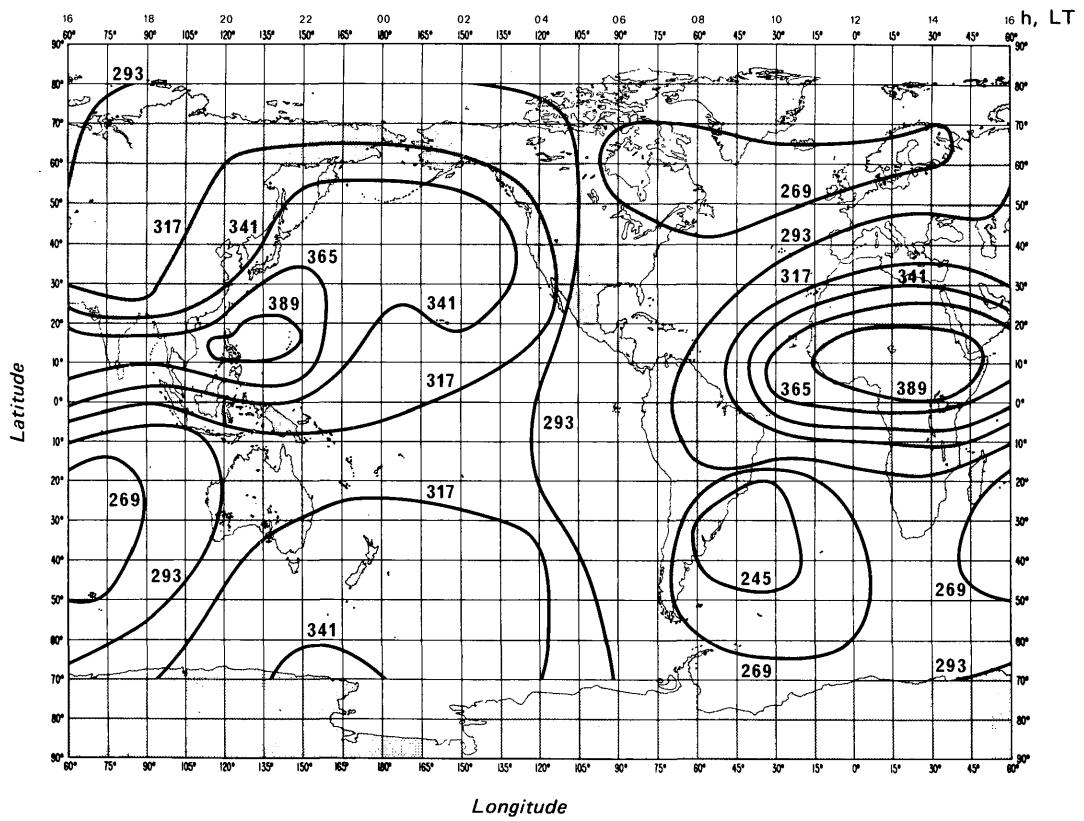


Figure 2

PREDICTION MAP OF $hmF2$ FOR 1200 h UT IN JUNE WITH $R_{12} = 100$

Heights quoted are in kilometres

PARTE 1

(Addendum)

En la página 25 del texto español del Informe 340, sustitúyase en el cuarto párrafo del § 2 la última frase por:

«La EJF también se denomina «MUF normalizada».

Página 27, ecuación (3). Insértese el párrafo siguiente:

«En las ecuaciones (2a), (2b) y (3), $U_{2j,k}$ y $U_{2j-1,k}$ pueden expresarse como $U_{s,k}$, donde s corresponde a $2j$ o a $2j-1$. En los cuadros 1 a 48, los coeficientes de los mapas numéricos se indican en función de los valores de s y k ».

Página 404, después del título del nomograma, agréguese:

«Se considera que el valor de FOT (frecuencia óptima de trabajo) es igual al de la EJF equivalente».

PARTE 2

SEGUNDO JUEGO DE COEFICIENTES NUMÉRICOS DE foF2

Puede obtenerse en la Secretaría del C.C.I.R. un segundo juego de coeficientes numéricos en los que se definen las variaciones diurnas, geográficas, estacionales y undecenales (ciclo de actividad solar) de la frecuencia crítica de la capa F2 (foF2). Con este juego de coeficientes de cinco dimensiones (Nueva Delhi, 1970), pueden centrarse en un día cualquiera del año los valores de la mediana mensual prevista de foF2 [Jones y Obitts, 1970]. Se ha utilizado un polinomio de segundo grado para representar la variación del ciclo solar. Se recomienda utilizar esos coeficientes en los programas de predicciones a corto plazo.

El primer juego de coeficientes numéricos en los que se definen las variaciones diurnas y geográficas de foF2 (Oslo, 1966) [Jones y otros, 1969] está basado en una relación lineal con la actividad solar. Se recomienda su utilización en la planificación de frecuencias a largo plazo. En el Informe 340, § 3.5, página 22 (Oslo, 1966) se aconsejaba prudencia a los usuarios en el empleo del Atlas cuando R_{12} era superior a 150. El nivel de actividad solar en que la foF2 mediana parece estar saturada es función de la situación geográfica, de la hora del día, y de la estación, especialmente en el hemisferio sur en que el nivel de saturación varía de $R_{12} = 50$ a $R_{12} = 200$ [Mesterman y otros, 1973].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JONES, W. B., GRAHAM, R. P. y LEFTIN M. [1969] Advances in ionospheric mapping by numerical methods. ESSA Technical Report ERL 107-ITS 75 (U.S. Government Printing Office).
- JONES, W. B. y OBITTS, D. L. [1970] Global representation of annual and solar cycle variation of foF2 monthly median 1954-1958. Telecommunications Research Report, OT/ITS/TRR3, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- MESTERMAN, I., FERNANDEZ SARMIENTO, N. y RUBIRO, J. [1973] Variación de la saturación de la EJF en función de R_{12} en América del Sur. Laboratorio Ionosférico de la Armada Argentina, LIARA C-19, Argentina.

PARTE 3

PREDICCIÓN DE LA EJF DE LA CAPA F1

Introducción

Se presenta un método de predicción mediana mensual de la EJF de la capa F1 en el que se considera esta última por separado y no como extensión del sistema de predicción de la capa E. Las expresiones deducidas para predecir la frecuencia crítica de la capa F1 se basan en datos recogidos de 1954 a 1966 en 39 estaciones ionosféricas de ambos hemisferios [Du Charme, Petrie y Eyfrig, 1973]. El personal de las estaciones ionosféricas de numerosos países utiliza métodos normalizados para el análisis de las observaciones ionosféricas [Piggott y Rawer, 1972]. La EJF de la capa F1 para un circuito oblicuo se determina conociendo la frecuencia de penetración en el punto medio del trayecto y un factor de la EJF de la capa F1 correspondiente a la distancia de círculo máximo adecuada [Petrie y Stevens, 1965].

Determinación de la frecuencia crítica de la capa F1

Varios investigadores [Scott, 1952; Allen, 1948; Ratcliffe y Weekes, 1960] señalan que la frecuencia crítica de la capa F1, f_{oF1} , varía en función del ángulo cenital del Sol y su comportamiento puede representarse con suficiente precisión mediante la ecuación:

$$f_{oF1} = f_s \cos^n \chi$$

donde $\chi \leqslant$ ángulo cenital máximo del Sol, χ_m , desde el cual se observa la capa F1 en una ubicación determinada,

y donde los parámetros f_s y n [Scott, 1952; Harnischmacher, 1950], dependen de la actividad solar y de la ubicación.

No obstante, hay ocasiones en que la variación diurna de f_{oF1} en ubicaciones próximas al ecuador es independiente del ángulo cenital del Sol en períodos de intensa actividad solar [Lange-Hesse, 1959], pero depende de las variaciones de los índices fotoquímicos.

Distintos investigadores [Theissen, 1953; Davies, 1965] han establecido la variación de los parámetros f_s y n con la actividad solar. Han determinado la existencia de una relación aproximadamente lineal entre los parámetros de la capa F1 y varios índices ionosféricos y solares [Du Charme, Petrie y Eyfrig, 1973]. El índice ionosférico I_{F2} [Minnis, 1955] da una representación de esos parámetros algo mejor que el valor medio aproximado durante 12 meses del número de manchas solares del Observatorio de Zurich (R_{12}). No obstante el índice R_{12} debe utilizarse para la predicción de f_{oF1} , puesto que el C.C.I.R. lo recomienda para todas las predicciones ionosféricas con más de 12 meses de antelación.

Kervin [1967] ha establecido diferencias de comportamiento de la f_{oF1} en regiones de América del Norte y de Europa, pero tales diferencias se reducen considerablemente si se representan los datos en función de la latitud geomagnética. Esta última coordenada permite obtener una mejor representación de las variaciones de la capa F1 que cuando se establecen en función de otras coordenadas como inclinación geográfica magnética, la inclinación magnética modificada o la latitud magnética constante [Du Charme, Petrie y Eyfrig, 1973].

Un análisis de los valores de f_{oF1} demuestra que dicha característica puede derivarse para cualquier valor de R_{12} de las siguientes expresiones:

$$foF1 = f_s \cos^n \chi$$

$$\text{donde } f_s = f_{s_0} + 0,01 (f_{s_{100}} - f_{s_0}) R_{12}$$

$$f_{s_0} = 4,35 + 0,0058 \lambda - 0,000120 \lambda^2$$

$$f_{s_{100}} = 5,35 + 0,0110 \lambda - 0,000230 \lambda^2$$

$$n = 0,093 + 0,00461 \lambda - 0,0000540 \lambda^2 + 0,00031 R_{12}$$

siendo λ la latitud geomagnética en grados.

El ángulo cenital máximo del Sol en que está presente la capa F1 viene dado por las siguientes expresiones:

$$\chi_m = \chi_0 + 0,01 (\chi_{100} - \chi_0) R_{12} \text{ (grados)}$$

$$\text{donde } \chi_0 = 50,0 + 0,348 \lambda$$

$$\chi_{100} = 38,7 + 0,509 \lambda$$

Se representa un mapa del mundo y un trazado de círculos máximos (Informe 340, págs. 394 y 395 respectivamente), así como un mapa de la latitud geomagnética (fig. 1), para facilitar la determinación de las ubicaciones de los trayectos, de la distancia de círculo máximo y de los puntos de reflexión. Conociendo la latitud geomagnética en el punto de reflexión pueden determinarse los parámetros f_s , n y χ_m para cualquier valor de R_{12} utilizando los datos de las figs. 2, 3 y 4. Empleando el nomograma de la fig. 5, puede determinarse el valor de $foF1$ si se conocen f_s , n y χ . Existen gráficos de ángulo cenital del Sol según los meses (véase el Informe 340, págs. 397-402). El cálculo de la $foF1$ es valedero sólo para el caso de que $\chi \leq \chi_m$.

Determinación de la EJF de la capa F1

La propagación ionosférica por la capa F1 es importante para distancias de transmisión entre 2000 y 3400 km, en latitudes medias y elevadas, durante los meses de verano. Para las mencionadas distancias de transmisión se han establecido los factores de la EJF de la capa F1 [Petrie y Stevens, 1965] para el cálculo de dicha EJF. Estos factores se han deducido de cálculos de trazado de rayos en perfiles de densidad electrónica en función de altura, obtenidos en base a ionogramas representativos de medio día en latitudes medias y altas. Se supone que estos factores se aplican a todos los ángulos cenitales del Sol. El factor EJF, para R_{12} comprendido entre 0 y 150, puede determinarse a base de las siguientes expresiones numéricas:

$$\text{Factor EJF} = J_0 - 0,01(J_0 - J_{100}) R_{12}$$

$$\text{donde } J_0 = 0,16 + 2,64 \times 10^{-3} D - 0,40 \times 10^{-6} D^2$$

$$J_{100} = -0,52 + 2,69 \times 10^{-3} D - 0,39 \times 10^{-6} D^2$$

siendo D la distancia de círculo máximo en kilómetros (entre 2000 y 3400 km).

Para cálculos manuales el factor EJF puede elegirse en la fig. 6. La EJF de la capa F1 se calcula multiplicando la $foF1$ por el factor EJF.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, C. W. [1948] Critical frequencies, sunspots and sun's ultra violet radiation. *Terr. Magn. Atmos. Elect.*, 53, 433-448.

DAVIES, K. [1965] *Ionospheric radio propagation*. National Bureau of Standards Monograph 80, United States Department of Commerce, Washington.

- DU CHARME, E. D., PETRIE, L. E. y EYFRIG, R. [1973] A method for predicting the F1 layer critical frequency based on the Zurich smoothed sunspot number. *Radio Science*, **8**, 837-839.
- HARNISCHMACHER, E. [1950] L'influence solaire sur la couche E normale de l'ionosphère. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, **230**, 1301.
- KERVIN, C. [1967] Non-Chapman-like behaviour of the F1 layer. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **27**, 1299.
- LANGE-HESSE, G. [1959] Average diurnal variation of the critical frequencies of the F1 layer and their dependence on the geographic latitude and season. *Z. für Geophysik*, **25**, 199.
- MINNIS, C. M. [1955] A new index of solar activity based on ionospheric measurements. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **7**, 301.
- PETRIE, L. E. y STEVENS, E. E. [1965] An F1 layer MUF prediction system for northern latitudes. *IEEE Trans. Ant. and Prop.*, **AP13**, 542.
- PIGGOTT, W. R. y RAWER, K. [1972] *U.R.S.I. Handbook of ionogram interpretation and reduction*. Report UAG-23, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, NOAA, Boulder, Colo., Estados Unidos de América. En L.I.A.R.A. (Argentina) existe una traducción en español de este texto, y en francés en el C.N.E.T. (Francia).
- RATCLIFFE, J. A. y WEEKES, K. [1960] *Physics of the upper atmosphere*. Edited by J. A. Ratcliffe, Chapter 9, Academic Press, New York.
- SCOTT, J. C. W. [1952] The solar control of the E and F1 layers at high latitudes. *J. Geophys. Res.*, **57**, 369.
- THEISSEN, E. [1953] Quelques résultats relatifs à la fréquence critique et au facteur de transmission de la couche ionosphérique F1. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, **A237**, 1104.

BIBLIOGRAFÍA

- PETRIE, L.E. [1968] Developments of HF predictions for the Arctic. Publicado en el *Ionospheric Radio Communication*, 263, Plenum Press, Nueva York.

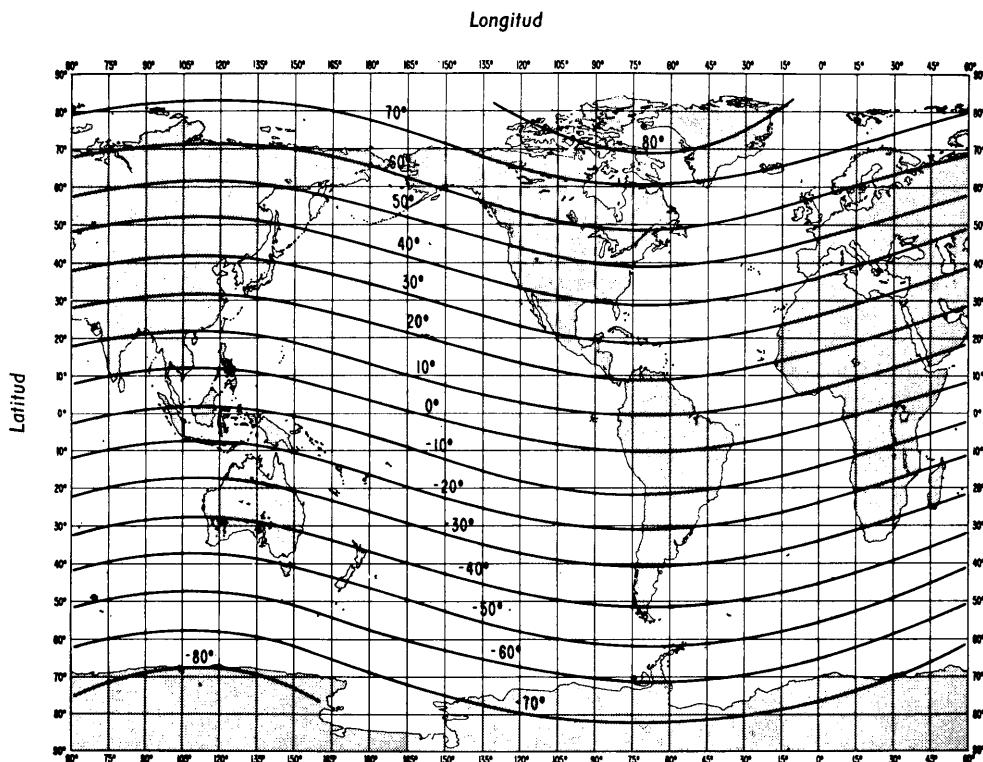


Figura 1

LATITUDES GEOMAGNÉTICAS

Este mapa se ha establecido a partir del campo geomagnético internacional de referencia, para el año 1965. (Polo geomagnético Norte: 78,8° Norte, 70,0° Oeste y polo geomagnético Sur: 78,8° Sur, 110,0° Este).

Extraído de:

CAMPBELL, W.H. [junio de 1972] Introduction to solar terrestrial activity for geomagnetic studies, Part II: The Earth's main field. NOAA Technical Report ERL 244-SEL 23, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

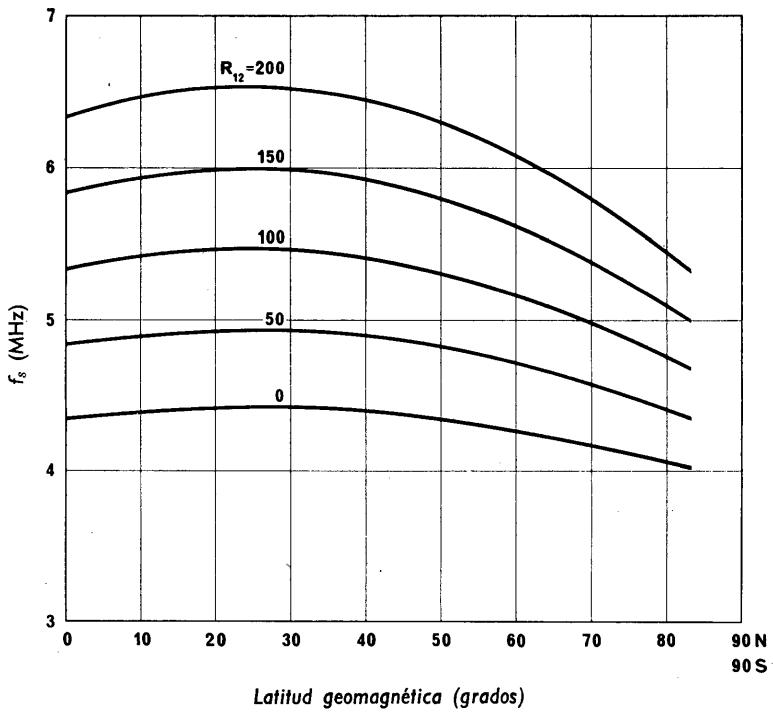


Figura 2
VARIACIÓN DE f_s EN FUNCIÓN DE LA LATITUD GEOMAGNÉTICA, Y R_{12}

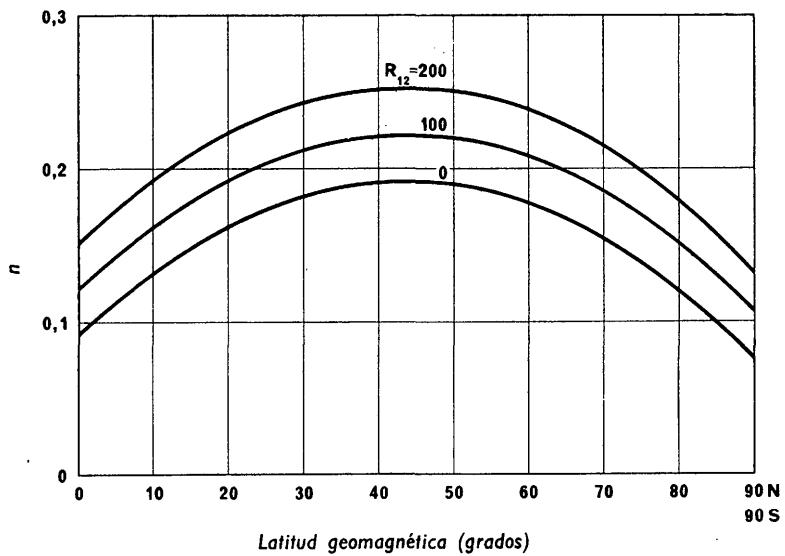


Figura 3
VARIACIÓN DE n EN FUNCIÓN DE LA LATITUD GEOMAGNÉTICA Y R_{12}

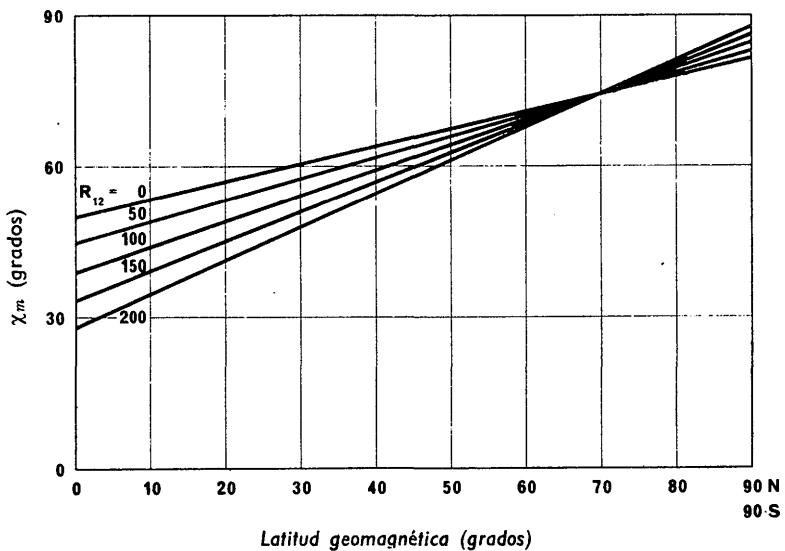


Figura 4
VARIACIÓN DE χ_m EN FUNCIÓN DE LA LATITUD GEOMAGNÉTICA Y R_{12}

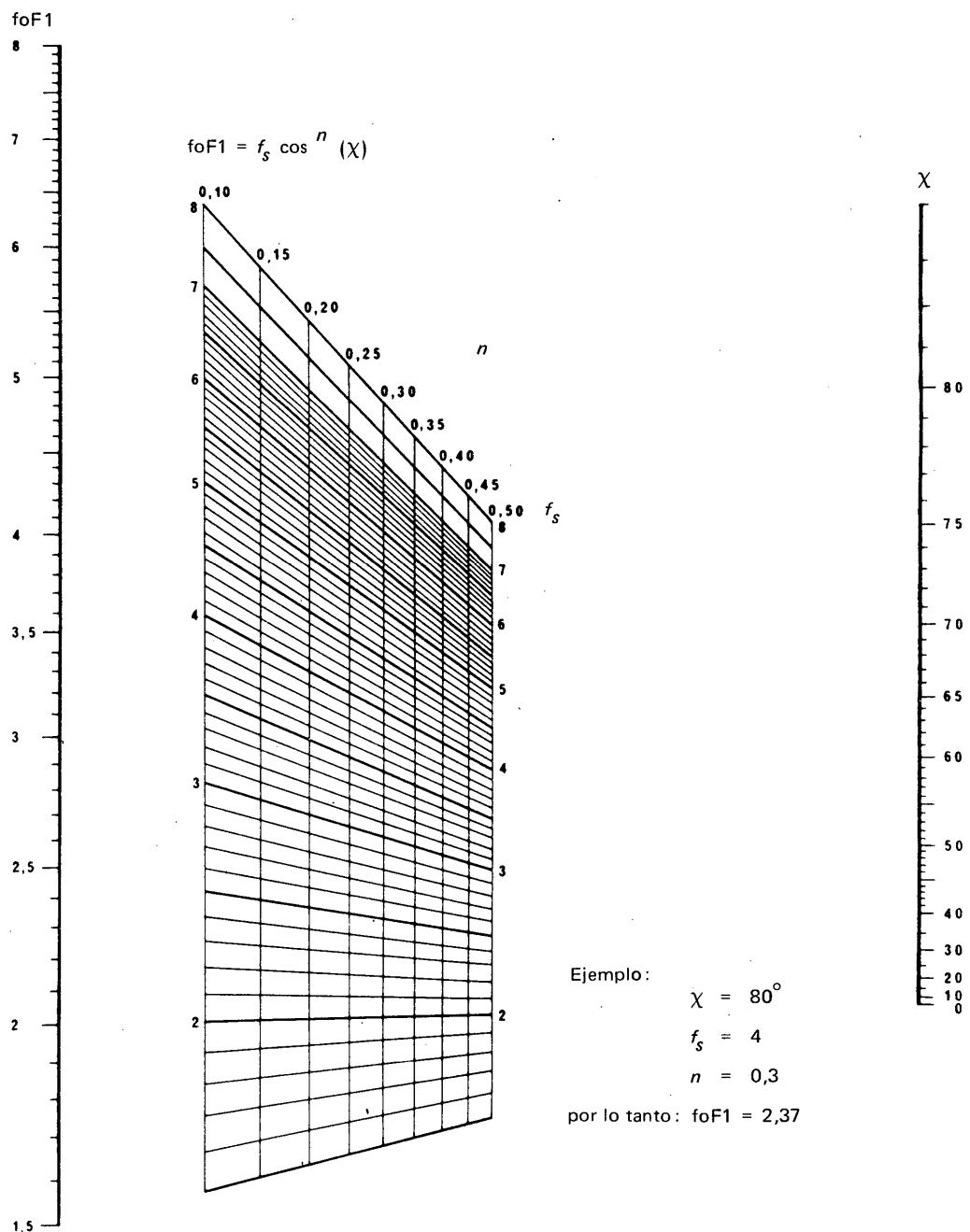


Figura 5

NOMOGRAFÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE $foF1$

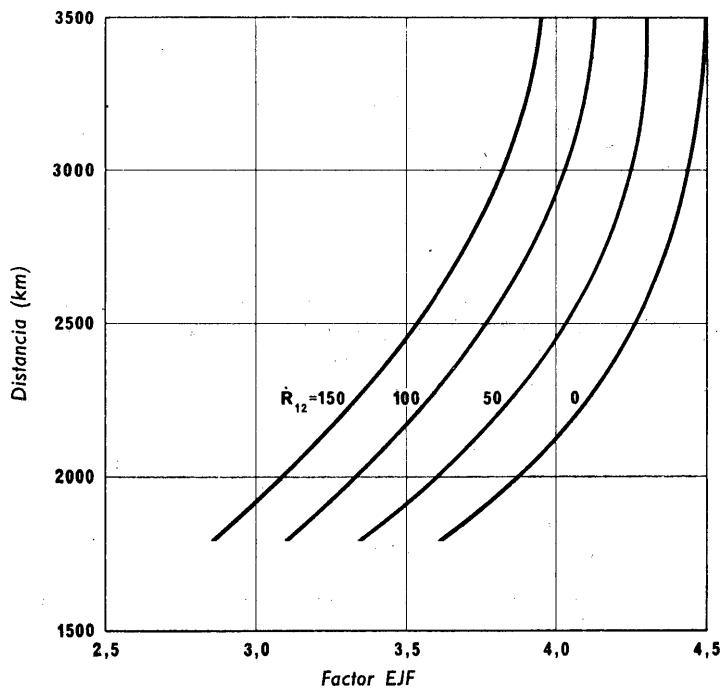


Figura 6
CURVAS DEL FACTOR DE DISTANCIA RELATIVO A LA CAPA FI

PARTE 4

JUEGO DE COEFICIENTES NUMÉRICOS PARA foEs Y fbEs

Puede obtenerse en la Secretaría del C.C.I.R. un juego de coeficientes numéricos que definen las variaciones diurnas, geográficas y estacionales de los valores medianos y los decilos inferior y superior de foEs para un año de mínima actividad solar y un año de máxima actividad solar, así como un juego de coeficientes numéricos que dan las variaciones de los valores medianos y los decilos inferior y superior de fbEs (frecuencia de apantallamiento de la capa E esporádica) para un año de mínima actividad solar.

BIBLIOGRAFÍA

- LEFTIN, M., OSTROW, S. M. y PRESTON, C. [1968] Numerical maps of foEs for solar cycle minimum and maximum. ESSA Technical Report ERL 73 – ITS 63 (U. S. Government Printing Office).
- LEFTIN, M. y OSTROW, S. M. [1969] Numerical maps of fbEs for solar cycle minimum. ESSA Technical Report ERL 124 – ITS 87 (U.S. Government Printing Office).

PARTE 5

RELACIONES ENTRE DIVERSOS ÍNDICES SOLARES E IONOSFÉRICOS

Las predicciones de las características ionosféricas contenidas en el Informe 340 se basan actualmente en el índice solar R_{12} . Sin embargo, son también recomendables otros índices para la predicción de las medianas mensuales de los datos con seis meses de antelación (véase la Recomendación 371-2 y el Informe 246-3). Los valores corrientes y las previsiones de estos índices se publican regularmente en el Boletín de Telecomunicaciones. El uso de las figs. 1 a 3 y del cuadro I facilitará la utilización del Atlas cuando se prefiera emplear un índice distinto del R_{12} .

BIBLIOGRAFÍA

- JOACHIM, M. [1966] Study of correlation of the three basic indices of ionospheric propagation: R_{12} , I_{F2} and Φ . *Nature*, **210**, 289-290.
- JOACHIM, M. [1966] Un effet d'hystéresis ionosphérique. *C.R. Acad. Sci. (París)*, B, **263**, 92-94.
- JOACHIM, M. [1967] Índice ionosférico Φ_{F2} . *Boletín de Telecomunicaciones*, **34**, 354-356.
- JOACHIM, M. y KRUPIN, Y. [1969] Corrélation entre les indices R_{12} et Φ_{F2} relatifs à la propagation ionosphérique. *C.R. Acad. Sci. (París)*, B, **269**, 664-665.
- MUGGLETON, L. M. y KOURIS, S. S. [1968] Relation between sunspot number and the ionospheric index I_{F2} . *Radio Science*, **3**, 1109-1110.

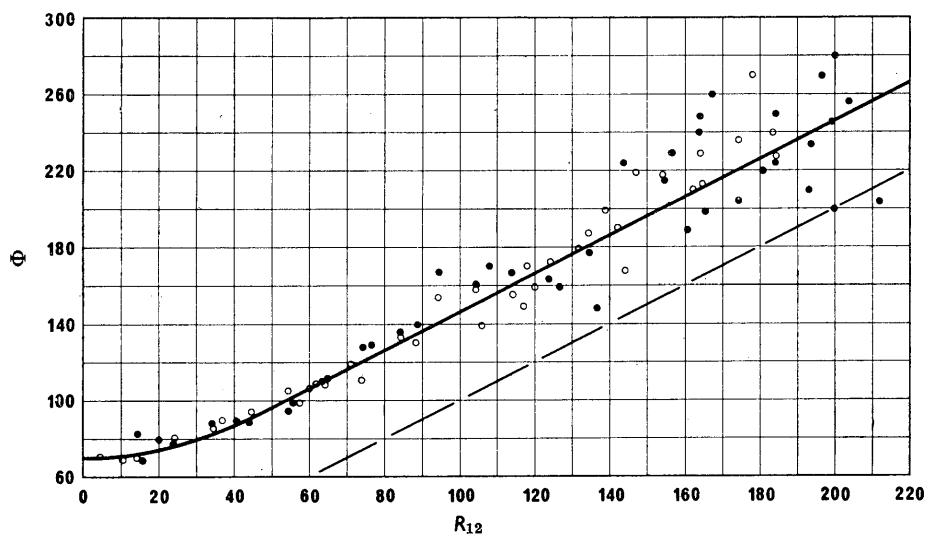


Figura 1
RELACIÓN ENTRE R_{12} Y Φ

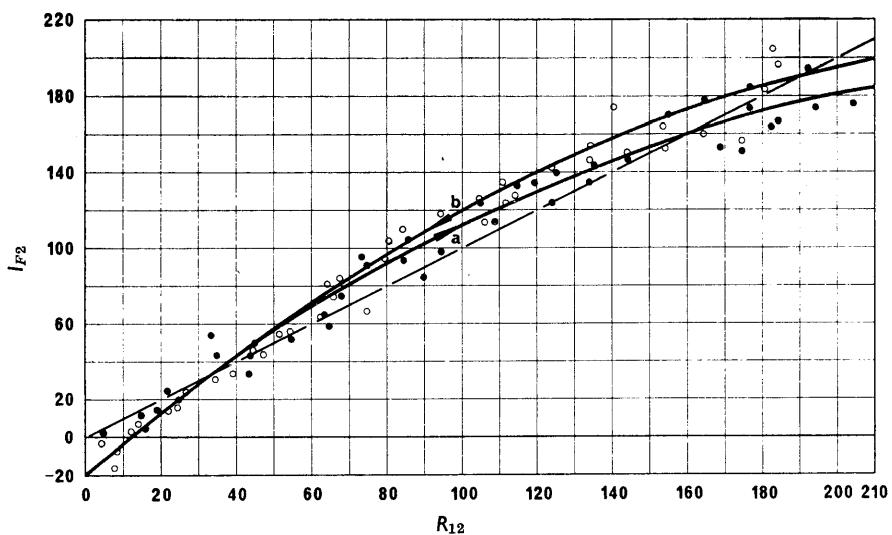


Figura 2
RELACIÓN ENTRE R_{12} E I_{F2}

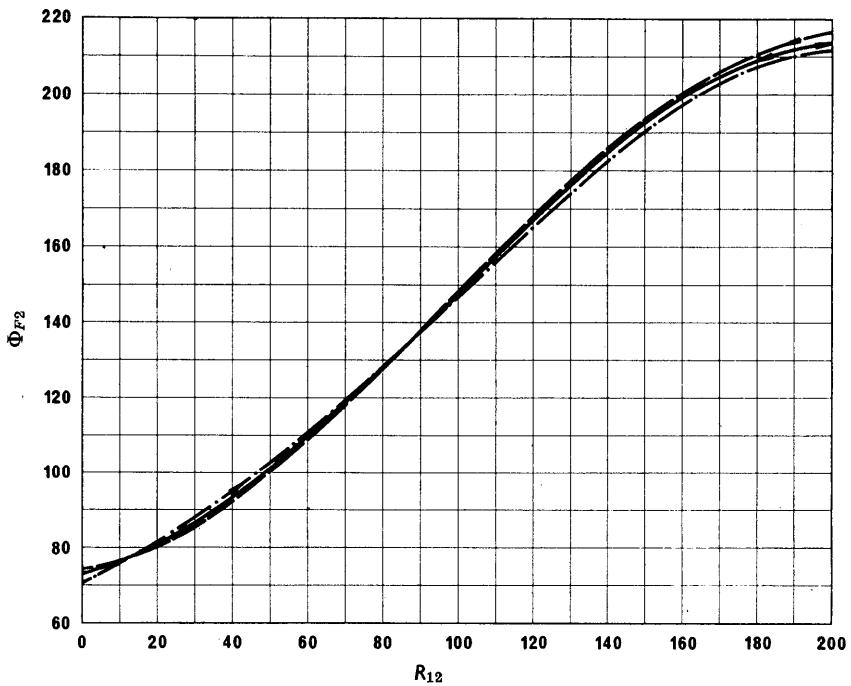


Figura 3
RELACIÓN ENTRE R_{12} Y Φ_{F2}

CUADRO I

*Relación entre T ,
índice ionosférico utilizado por la Administración australiana, y R_{12}*

$$T = c + d \cdot R_{12}$$

Mes	Ordenada en el origen (c)	Pendiente (d)
Enero	-1,58	0,96
Febrero	0,81	0,94
Marzo	-0,65	0,97
Abril	-0,54	0,99
Mayo	-0,06	1,00
Junio	0,34	1,01
Julio	-0,18	1,00
Agosto	1,19	0,97
Septiembre	2,70	0,93
Octubre	1,87	0,93
Noviembre	2,45	0,92
Diciembre	-0,04	0,96

PARTE 6

JUEGO DE COEFICIENTES NUMÉRICOS PARA LA PROBABILIDAD DE APARICIÓN DE LA CAPA F DIFUSA

El porcentaje de aparición de la capa F difusa se ha determinado basándose en los datos ionosféricos recopilados por la red mundial de estaciones de incidencia vertical para los dos años que corresponden, respectivamente, a un nivel elevado y a un nivel poco elevado de actividad solar. Estos datos se han analizado por el método de cartografía numérica de Jones y Gallet, y se dispone de coeficientes numéricos para todos los meses. Los coeficientes pueden obtenerse en la Secretaría del C.C.I.R.

PARTE 7

PREDICCIÓN DE foE

Se describe un método para predecir la mediana mensual de foE [Muggleton, 1974] basado en todos los datos de 55 estaciones ionosféricas publicados en los años 1944-1973.

Con foE expresado en MHz:

$$(foE)^4 = A \ B \ C \ D \quad (1)$$

donde A es el factor de actividad solar que viene dado por:

$$A = 1 + 0,0094 (\Phi - 66) \quad (2)$$

Φ es la media mensual del flujo de ruido radioeléctrico solar observado en 10,7 cm expresado en unidades de $10^{-22} W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$.

B es un factor estacional:

$$B = \cos^m \chi_{\text{mediodia}} \quad (3)$$

donde χ_{mediodia} = ángulo del céntit solar a mediodía local. El exponente m es una función de la latitud geográfica, λ :

$$m = -1,93 + 1,92 \cos \lambda \text{ para } |\lambda| < 32^\circ \quad (4a)$$

$$\text{o } m = 0,11 - 0,49 \cos \lambda \text{ para } |\lambda| \geq 32^\circ \quad (4b)$$

C es el factor principal de latitud, que viene dado por:

$$C = X + Y \cos \lambda \quad (5a)$$

$$\text{donde } X = 23, \quad Y = 116 \quad \text{para } |\lambda| < 32^\circ \quad (5b)$$

$$\text{y } X = 92, \quad Y = 35 \quad \text{para } |\lambda| \geq 32^\circ \quad (5c)$$

(El modelo ha sido probado con resultados satisfactorios hasta latitudes de 75° , incluida la zona auroral septentrional.)

D es el factor hora del día.

Caso 1: $\chi' \leq 73^\circ$

$$D = (\cos \chi')^p \quad (6a)$$

donde χ' se relaciona con el ángulo cenital solar. Para $|\lambda| \leq 23^\circ$, $\chi' = \chi$, pero para $|\lambda| > 23^\circ$, χ' se presume que tiene el valor de χ 0,05 horas antes. Con esta corrección se tiene en cuenta la «histéresis» de la ionosfera. Para $|\lambda| \leq 12^\circ$, $p = 1,31$; para $|\lambda| > 12^\circ$, $p = 1,20$.

Caso 2: $73^\circ < \chi' < 90^\circ$

$$D = \cos^p (\chi' - \delta\chi') \quad (6b)$$

donde $\delta\chi' = 6,27 \times 10^{-13} (\chi' - 50)^8$ grados, (6c)

el valor de p es el mismo que en el caso 1.

Caso 3: $\chi' \geq 90^\circ$

La función se ha ampliado aún más a fin de proporcionar valores de foE para la noche ajustando una expresión a valores dados por Piggott y Rawer [1972]. La expresión de D para la noche pasa a ser así, para $\chi' \geq 90^\circ$:

$$D = (0,077)^p \exp \left\{ -1,68 (T_1 - t) \right\} \quad \begin{array}{l} \text{desde medianoche} \\ \text{hasta el orto} \end{array} \quad (6d)$$

$$D = (0,077)^p \exp \left\{ -1,01 (t - T_2) \right\} \quad \begin{array}{l} \text{desde el ocaso} \\ \text{hasta medianoche} \end{array} \quad (6e)$$

donde t es la hora local que interesa, T_1 la hora local del orto ($\chi' = 90^\circ$) y T_2 la hora local del ocaso ($\chi' = 90^\circ$), expresadas todas en horas. El exponente p tiene el mismo valor que en el caso 1.

El valor mínimo de $(\text{foE})^4$, según Wakai [1971], está dado por:

$$(\text{foE})_{\text{mínima}}^4 = 0,017 (1 + 0,0098 Y)^2 \quad (7)$$

donde Y es igual a R (media mensual del número de manchas solares) o a su valor equivalente obtenido a partir de Φ o de I_{F2} . Si el valor de $(\text{foE})^4$ calculado por las ecuaciones (1) a (6e) es inferior al calculado mediante la ecuación (7), debe tomarse este último valor.

Las pruebas destinadas a comprobar la precisión del método descrito han permitido determinar una desviación típica media de 0,11 MHz para una base de datos correspondiente a más de 80 000 comparaciones horarias para las 55 estaciones consideradas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MUGGLETON, L. M. [1975] A method of predicting foE at any time and place. *Boletín de Telecomunicaciones*, **42**, 413-418.
- PIGGOTT, W. R. y RAWER, K. [1972] *U.R.S.I. Handbook of ionogram interpretation and reduction*. Report UAG-23, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, NOAA, Boulder, Colorado 80302, Estados Unidos de América. En L.I.A.R.A. (Argentina) existe una traducción en español de este texto, en el C.N.E.T. (Francia) existe una traducción en francés.
- WAKAI, N. [1971] Study on the night-time E-region and its effect on the radio wave propagation. *J. Radio Res. Labs.*, Japón, **18**, 245-348.

PARTE 8

JUEGO DE COEFICIENTES NUMÉRICOS PARA $h'F$

Se han establecido mapas numéricos mundiales para representar la altura virtual mínima de la base de la región F (F_2 durante la noche, en general, y F_1 durante el día) en el curso de un año de actividad solar máxima y mínima. Estos mapas mundiales se han empleado en el Informe 252-3 para determinar el semiespesor de la región F y la altura real de reflexión.

Se han elaborado asimismo, mapas numéricos para representar la altura virtual mínima de la base de la capa F_2 de día y de noche, para los años de actividad solar máxima y mínima.

Ambos juegos de coeficientes pueden obtenerse en la Secretaría del C.C.I.R.

PARTE 9

MODELO DE DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LA DENSIDAD ELECTRÓNICA EN LAS REGIONES E Y F

1. Introducción

Se ha preparado un modelo sencillo de la distribución vertical de la densidad electrónica en la región E y F. Los parámetros del modelo se han deducido de ecuaciones empíricas, relacionándolas con las características ionosféricas medidas normalmente f_{oE} , f_{oF2} , $M(3000)F2$ y $h'F$ o $h'F2$, según cual de estas dos sea la altura mínima virtual de reflexión en la capa F_2 . Como se conocen los valores previstos de estas características, el modelo puede construirse para cualquier lugar y hora. Se considera que el modelo tiene un valor práctico, tanto para predicciones de propagación como para investigaciones morfológicas de la ionosfera.

2. Detalles del modelo

La fig. 1 representa el modelo de Bradley y Dudeney [1973], que se compone de:

- una capa E parabólica por debajo de su altura de máxima densidad electrónica hmE , con un semiespesor ymE . hmE es constante a 110 km e ymE a 20 km;
- una capa F2 parabólica con altura de máxima densidad electrónica $hmF2$ y un semiespesor $ymF2$;
- un aumento lineal de la densidad electrónica con la altura entre hmE y el punto de la capa F2 parabólica en que la frecuencia del plasma f_i es 1,7 f_{oE} .

Los parámetros del modelo $hmF2$ e $ymF2$ se obtienen de las ecuaciones empíricas [Bradley y Dudeney, 1973; Eyfrig, 1974]:

$$hmF2 = \frac{1490}{M(3000)F2 + \Delta M} - 176 \quad (1a)$$

donde $\Delta M = \frac{0,18}{x - 1,4} + \frac{0,096(R - 25)}{150}$ (1b)

siendo $x = \frac{f_0 F_2}{f_0 E}$ o 1,7, tomándose el mayor de estos dos valores

y R = media móvil del número de manchas solares para doce meses de Zurich.

$$y mF2 = hmF2 - h'F2 + \Delta h' \quad (2a)$$

siendo $\Delta h' = \left(\frac{0,613}{x - 1,33} \right)^{0,86} \cdot (hmF2 - 104)$ (2b)

$h'F2$ es la altura virtual mínima de reflexión observada de la capa F2. (Durante las horas nocturnas, es igual a la $h'F$ definida por la U.R.S.I.).

3. Precisión del modelo

Comparaciones con análisis de altura real a partir de ionogramas muestra obtenidos en distintos puntos, horas del día, estaciones del año y períodos de actividad solar, confirman que las estimaciones del modelo basadas en los valores medidos de características ionosféricas de incidencia vertical para las alturas correspondientes a densidades electrónicas dadas, son generalmente correctas con un margen de precisión de 20 a 30 km.

4. Mapas de hmF2

La fig. 2 representa un ejemplo de mapa mundial de hmF2 deducido de la ecuación (1) y basado en los mapas numéricos de predicción de características ionosféricas del Informe 340 inicial. De forma análoga se pueden elaborar mapas de $ymF2$ utilizando las ecuaciones (1) y (2).

5. Altura virtual y altura real de reflexión para la propagación con incidencia vertical del modelo

Existen expresiones analíticas para la altura virtual y la altura real de reflexión, h y h' respectivamente, para la propagación con incidencia vertical en este modelo. Para una frecuencia f expresada por:

$$f < f_0 E \text{ con } \frac{f}{f_0 E} = x_E$$

$$h = hmE - ymE \sqrt{1 - x_E^2} \quad (3)$$

$$h' = (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tgh} x_E \quad (4)$$

$$f_0 E \leq f \leq f_j \text{ con } \frac{f}{f_j} = x_j; x_j \geq 1$$

$$h = hmE + (h_j - hmE) \cdot \frac{x_j^2 \cdot (x_E^2 - 1)}{(x_E^2 - x_j^2)} \quad (5)$$

$$h' = (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \operatorname{arc} \operatorname{cotgh} x_E + 2(h_j - hmE) \cdot \frac{x_j^2 x_E \sqrt{x_E^2 - 1}}{(x_E^2 - x_j^2)} \quad (6)$$

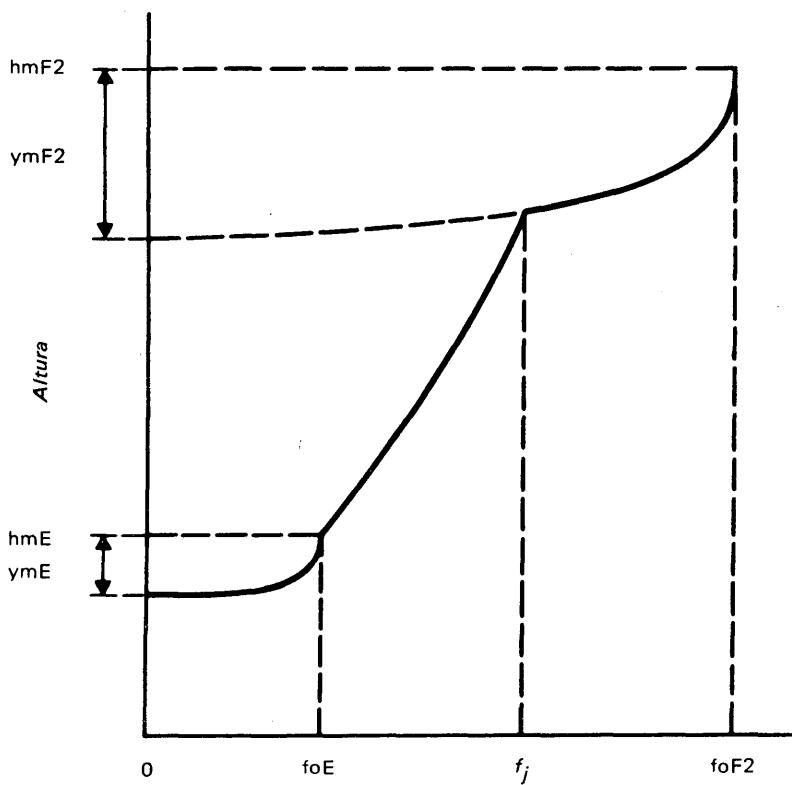
$$\begin{aligned}
 f_j < f \leq foF2 \text{ con } \frac{f}{foF2} = x_{F2}; x_E > 1; x_j > 1 \\
 h &= hmF2 - ymF2 \sqrt{1 - x_{F2}^2} \quad (7) \\
 h' &= (hmE - ymE) + x_E \cdot ymE \cdot \operatorname{arc cotgh} x_E + 2(h_j - hmE) \cdot \\
 &\quad , \frac{x_j \cdot x_E [x_j \sqrt{x_E^2 - 1} - x_E \sqrt{x_j^2 - 1}]}{(x_E^2 - x_j^2)} + \\
 &\quad + x_{F2} \cdot ymF2 \cdot \operatorname{arc cosh} \left(\frac{hmF2 - h_j}{ymF2 \sqrt{1 - x_{F2}^2}} \right) \quad (8)
 \end{aligned}$$

h_j es la altura de intersección de las partes F1 y F2 del modelo correspondiente a una frecuencia de plasma f_j , y viene dada por:

$$h_j = hmF2 - ymF2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{f_j}{foF2} \right)^2} \quad (9)$$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRADLEY, P. A. y DUDENEY, J. R. [1973] A simple model of the vertical distribution of electron concentration in the ionosphere. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **35**, 2131-2146.
- EYFRIG, R. [1974] Prediction of ionospheric layer-height parameters and oblique-path modes for propagation via the ionosphere in band 7 (HF). Contribución de la República Federal de Alemania al Grupo interino de trabajo 6/1, febrero de 1974.



Frecuencia de plasma

Figura 1

EL MODELO

Este modelo consiste en:

- una capa E parabólica,
- un aumento lineal de la concentración electrónica con la altura en la región F1,
- una capa F2 parabólica.

Las escalas en ordenadas (altura) y en abscisas (frecuencia) son lineales.

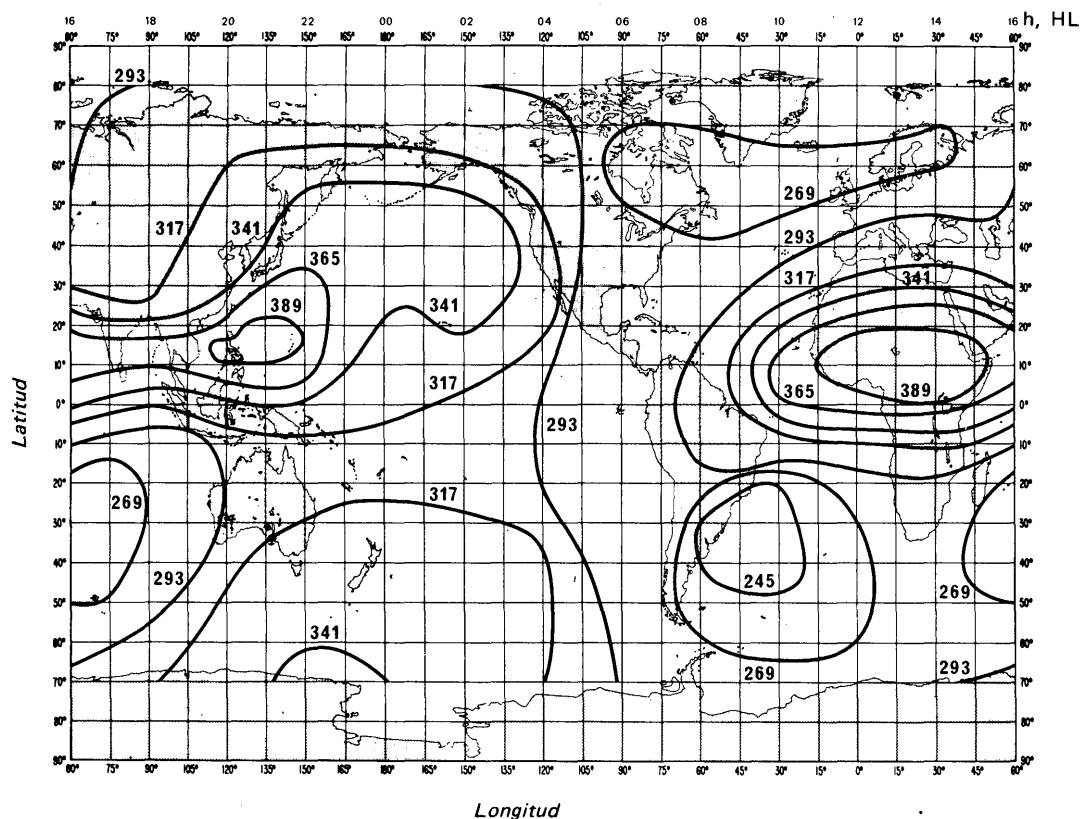


Figura 2

MAPA DE PREDICCIÓN DE $hmF2$, PARA LAS 1200 h, UT, JUNIO, CON $R_{12} = 100$

Las alturas se indican en kilómetros

IMPRIMÉ EN SUISSE