

RECOMMANDATION UIT-R P.1147-3

Prévision du champ de l'onde ionosphérique pour les fréquences comprises entre 150 et 1 700 kHz environ

(Question UIT-R 225/3)

(1995-1999-2003-2005)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est nécessaire de fournir des indications aux ingénieurs chargés de la planification des services de radiodiffusion dans les bandes des ondes kilométriques et hectométriques;
- b) qu'il est important de déterminer la distance géographique minimale entre les stations travaillant dans les mêmes canaux ou dans des canaux adjacents afin d'éviter les brouillages occasionnés par la propagation ionosphérique à grande distance;
- c) que, des portions de cette gamme de fréquences étant partagées par la radiodiffusion et d'autres services dans différentes Régions, une méthode précise de prévision des niveaux de brouillage est nécessaire pour assurer une utilisation efficace et méthodique de ces parties du spectre;

recommande

que la méthode suivante soit adoptée, tout en notant les considérations sur sa précision données dans l'Annexe 1.

1 Introduction

Cette méthode prévoit les valeurs du champ de l'onde ionosphérique produite de nuit par une ou plusieurs antennes verticales rayonnant une puissance donnée, les mesures étant faites au niveau du sol, au moyen d'un cadre dont le plan vertical coïncide avec le plan du grand cercle qui contient la direction de l'émetteur. Cette méthode est fondée sur des mesures qui ont été faites dans les bandes de fréquences attribuées à la radiodiffusion et s'applique pour des trajets d'une longueur comprise entre 50 et 12 000 km, dans ces bandes des ondes kilométriques et des ondes hectométriques en particulier. Voir, à l'Annexe 2, des considérations sur la propagation de l'onde ionosphérique pendant la journée.

Les Fig. 1, 2 et 3 constituent un élément essentiel de la méthode de prévision. Pour plus de commodité, on a inclus des cartes géomagnétiques (Fig. 5, 6 et 10). Les autres Figures et l'Appendice 1 contiennent des données supplémentaires qui permettent de simplifier l'application de la méthode.

2 Valeur médiane annuelle du champ de nuit

Le champ prévu de l'onde ionosphérique est donné par la formule:

$$E = V + E_0 - L_t = V + G_S - L_p + A - 20 \log p - L_a - L_t - L_r \quad (1)$$

dans laquelle:

- E : valeur médiane annuelle des médianes semi-horaires du champ (dB(μ V/m)) pour une force cymomotrice d'émission donnée V , et à une heure donnée t comptée à partir du coucher ou du lever du Soleil suivant le cas
- E_0 : valeur médiane annuelle des médianes semi-horaires du champ (dB(μ V/m)) pour une force cymomotrice d'émission de 300 V, à l'heure de référence indiquée au § 2.1
- V : force cymomotrice de l'émetteur (dB par rapport à une force cymomotrice de référence de 300 V) (voir le § 2.2)
- G_S : correction du gain dû à la proximité de la mer (dB) (voir le § 2.3)
- L_p : surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation (dB) (voir le § 2.4)
- A : constante. Dans la bande des ondes kilométriques, $A = 110,2$. Dans la bande des ondes hectométriques, $A = 107$ sauf pour les trajets de propagation dont le point milieu est situé dans la partie de la Région 3 se trouvant au sud du parallèle 11° S. Dans ces cas, $A = 110$
- L_a : coefficient d'affaiblissement tenant compte de l'absorption ionosphérique et de facteurs connexes (voir le § 2.6)
- L_t : coefficient d'affaiblissement horaire (dB) (voir le § 2.7)
- L_r : coefficient d'affaiblissement tenant compte de l'activité solaire (voir le § 2.8).

La Fig. 4 donne E_0 en fonction de la distance d à la surface du sol pour diverses valeurs de fréquences et pour diverses valeurs de latitude géomagnétique dans le cas où G_S , L_p et R sont tous égaux à zéro; R étant la moyenne glissante sur 12 mois du nombre relatif international de taches solaires.

2.1 Heure de référence

On prend pour heure de référence six heures après le coucher du Soleil en un point S de la surface de la Terre. Pour les trajets inférieurs à 2000 km, S est le point milieu du trajet. Pour les trajets plus longs, S est situé à 750 km de l'extrémité où le Soleil se couche en dernier, cette distance étant comptée le long du grand cercle.

2.2 Force cymomotrice

La force cymomotrice V (dB(300V)) est donnée par la formule:

$$V = P + G_V + G_H \quad (2)$$

où:

- P : puissance rayonnée (dB(1 kW))
- G_V : gain de l'antenne d'émission dû à la directivité verticale (dB) (voir la Fig. 1)
- G_H : gain de l'antenne d'émission dû à la directivité horizontale (dB). Pour les antennes directives, G_H est fonction de l'azimut. Pour les antennes omnidirectives, $G_H = 0$.

2.3 Gain dû à la proximité de la mer

Le gain dû à la proximité de la mer, G_S , est le gain supplémentaire qui se manifeste lorsque l'une ou l'autre des extrémités du trajet (ou les deux) sont situées près de la mer; il ne s'applique pas dans le cas de la propagation au-dessus de l'eau douce. Si une seule des deux extrémités est située près de la mer:

$$G_S = G_0 - c_1 - c_2 \quad \text{pour} \quad (c_1 + c_2) < G_0 \quad (3)$$

$$G_S = 0 \quad \text{pour} \quad (c_1 + c_2) \geq G_0 \quad (4)$$

où:

G_0 : gain dû à la proximité de la mer (dB), dans le cas où l'extrémité est située sur la côte et où le trajet n'est pas occulté par un autre segment terrestre

c_1 : correction destinée à tenir compte de la distance entre l'extrémité et la mer

c_2 : correction destinée à tenir compte de la largeur d'un ou plusieurs bras de mer ou de la présence d'îles.

Si les extrémités du trajet sont toutes deux situées près de la mer, G_S est la somme des valeurs pour chacune d'elles.

G_0 est donné, sur la Fig. 2, en fonction de d pour les bandes des ondes kilométriques et hectométriques. Dans la bande des ondes hectométriques, $G_0 = 10$ dB lorsque d est supérieur à 6 500 km. Dans la bande des ondes kilométriques, $G_0 = 4,1$ dB lorsque d est supérieur à 5 000 km, où d est la distance à la surface du sol entre les deux extrémités.

Le facteur de correction c_1 est donné par:

$$c_1 = \frac{s_1}{r_1} G_0 \quad (5)$$

où:

s_1 : distance de l'extrémité à la mer, mesurée le long de l'arc de grand cercle (km)

$$r_1 = 10^3 G_0^2 / Q_1 f \quad \text{km}$$

f : fréquence (kHz)

$Q_1 = 0,30$ dans la bande des ondes kilométriques et 1,4 dans la bande des ondes hectométriques.

Le facteur de correction c_2 est donné par:

$$c_2 = \alpha G_0 \left(1 - \frac{s_2}{r_2} \right) \quad \text{pour} \quad s_2 < r_2 \quad (6)$$

$$c_2 = 0 \quad \text{pour} \quad s_2 \geq r_2 \quad (7)$$

où:

s_2 : distance de l'extrémité à la section terrestre suivante, mesurée le long de l'arc de grand cercle (km)

$$r_2 = 10^3 G_0^2 / Q_2 f \quad \text{km}$$

$Q_2 = 0,25$ dans la bande des ondes kilométriques et $1,2$ dans la bande des ondes hectométriques

α : proportion de terre dans la section du trajet comprise entre r_2 et s_2 ($0 < \alpha \leq 1$).

Lorsqu'on effectue ces calculs à l'aide d'un ordinateur et que l'on ne dispose pas d'une banque de données de terrain permettant de calculer le pourcentage α , on peut poser $\alpha = 1/2$, ce qui revient à supposer une répartition terre/mer de 50% dans la section du trajet comprise entre r_2 et s_2 .

Pour faciliter les calculs, on a tracé la Fig. 8a qui représente r_1 , distance maximale à la mer pour laquelle il y a lieu de calculer le gain dû à la mer, et la Fig. 8b qui représente r_2 , distance maximale à la prochaine section de terre pour laquelle il y a lieu d'appliquer la correction c_2 . Ces deux Figures ont été tracées pour diverses valeurs de la fréquence.

2.4 Affaiblissement par couplage de polarisation

L_p est le surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation (dB). Dans la bande des ondes kilométriques, $L_p = 0$. Dans la bande des ondes hectométriques, L_p est donné à chaque extrémité par l'une des deux formules suivantes:

$$\begin{aligned} L_p &= 180 (36 + \theta^2 + I^2)^{-1/2} - 2 && \text{dB} && \text{pour } I \leq 45^\circ \\ L_p &= 0 && && \text{pour } I > 45^\circ \end{aligned} \quad (8)$$

où I est l'inclinaison magnétique N ou S en degrés à l'extrémité et θ l'azimut du trajet mesuré en degrés par rapport à la direction magnétique est-ouest, de telle sorte que $|\theta|$ soit inférieur ou égal à 90° . L_p doit être évalué séparément pour les deux extrémités car θ et I peuvent y avoir des valeurs différentes; les deux valeurs de L_p sont ensuite additionnées. Pour déterminer θ et I , il convient d'utiliser les valeurs les plus précises de l'inclinaison et de la déclinaison magnétique dont on dispose (voir, par exemple, les Fig. 5 et 6).

La Fig. 7 représente les valeurs de L_p calculées d'après la formule (8).

2.5 Longueur du trajet parcouru par l'onde, p

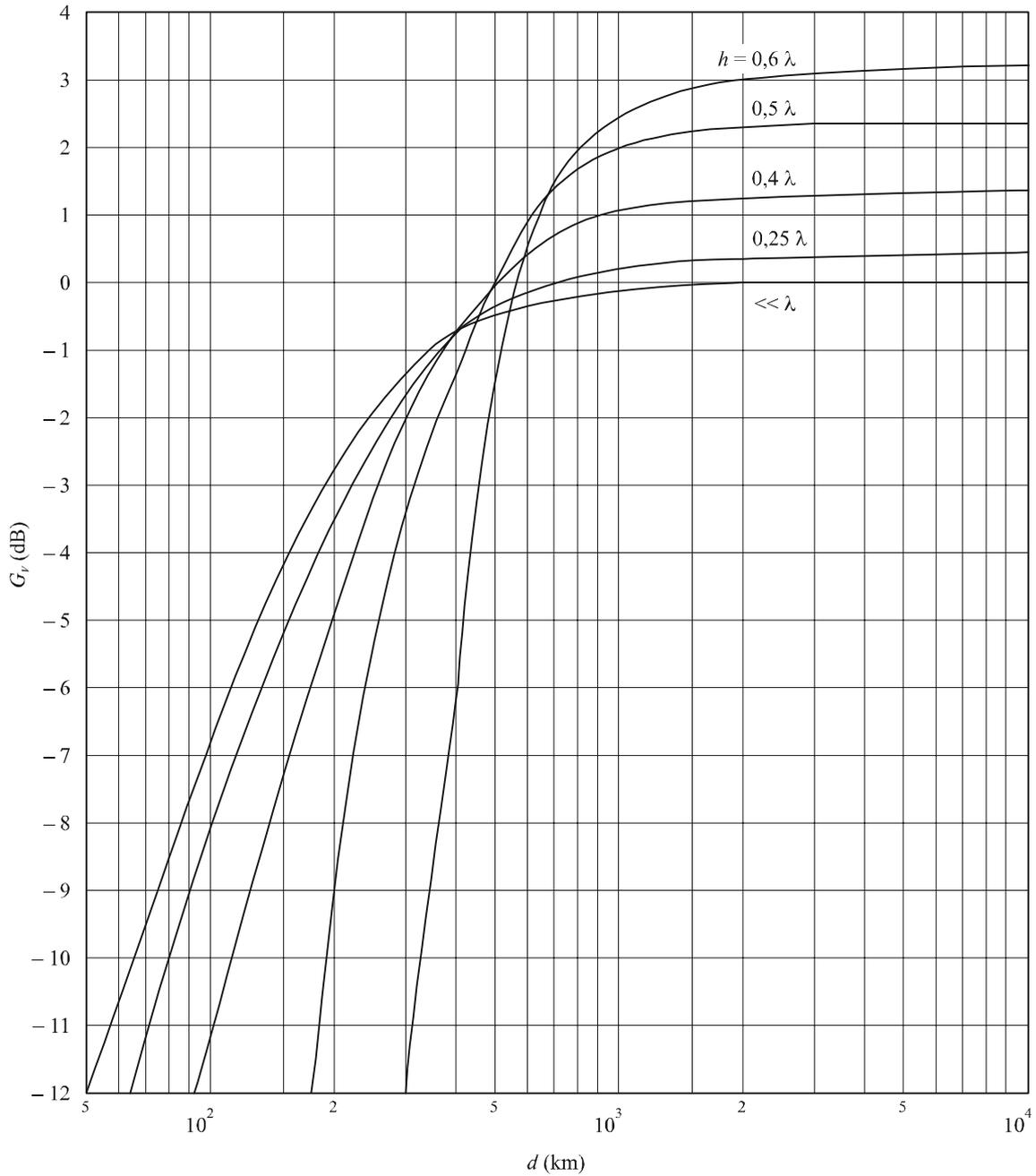
Pour des trajets de longueur supérieure à 1 000 km, p (km) est sensiblement égal à la distance au sol d (km) entre l'émetteur et le récepteur. Pour les trajets plus courts:

$$p = (d^2 + 40\,000)^{1/2} \quad (9)$$

La formule (9) peut être utilisée avec une erreur négligeable pour n'importe quelle longueur de trajet. Afin d'éviter toute discontinuité du champ en fonction de la distance, cette formule devra être utilisée dans tous les cas où les distances sont toutes deux inférieures à 1 000 km ou supérieures à 1 000 km.

FIGURE 1

Gain de l'antenne d'émission (G_r) pour des antennes verticales simples au-dessus d'un sol parfait

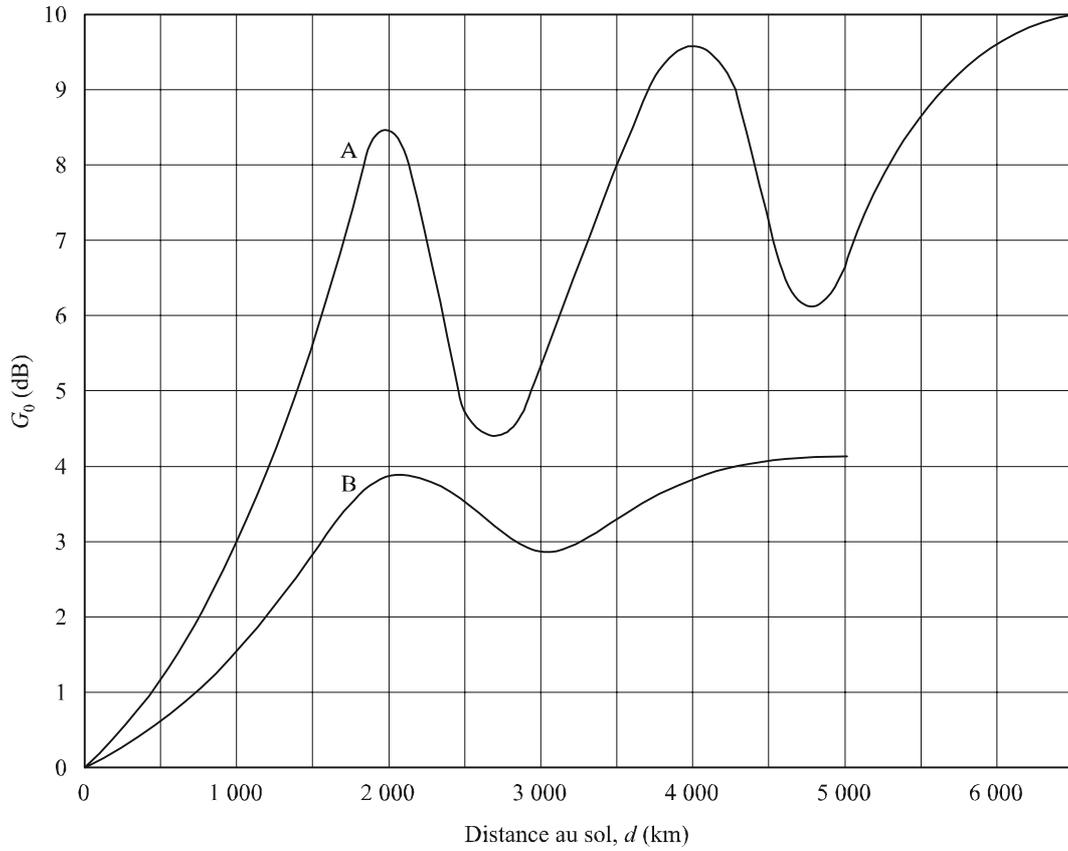


h : hauteur de l'antenne

Note 1 – Pour $10\ 000\ \text{km} < d < 12\ 000\ \text{km}$, on utilise les valeurs à $d = 10\ 000\ \text{km}$.

FIGURE 2

Gain dû à la proximité de la mer pour une seule extrémité située sur la côte (G_0)

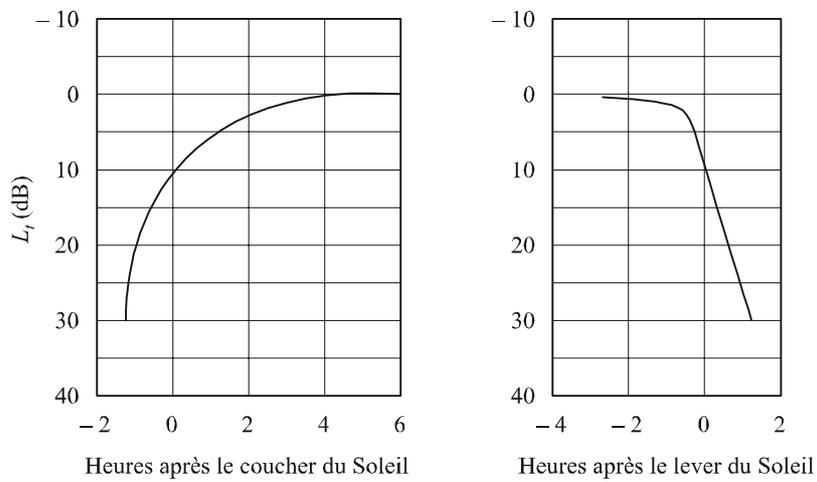


Courbes A: bande des ondes hectométriques
 B: bande des ondes kilométriques

1147-02

FIGURE 3

Coefficient d'affaiblissement horaire (L_t)



1147-03

2.6 Coefficient d'affaiblissement tenant compte de l'absorption ionosphérique et de facteurs connexes

L_a est le coefficient d'affaiblissement tenant compte de l'absorption ionosphérique, de la focalisation et de l'affaiblissement aux extrémités et entre bonds dans le cas des trajets à plusieurs bonds:

$$L_a = k \sqrt{p / 1000} \quad (10)$$

et le coefficient d'affaiblissement de référence k est donné par:

$$k = (2\pi + 4,95 \operatorname{tg}^2 \Phi) \quad (11)$$

Dans l'équation (11), Φ est la latitude géomagnétique (dipôle) du point milieu du trajet étudié. Les latitudes sont positives dans l'hémisphère Nord et négatives dans l'hémisphère Sud. Il est possible d'utiliser la Fig. 10 pour obtenir la latitude géomagnétique à partir des coordonnées géographiques connues du point milieu. Si Φ est supérieur à $+60^\circ$, on utilise l'équation (11) avec $\Phi = +60^\circ$. Si Φ est inférieur à -60° , on utilise l'équation (11) avec $\Phi = -60^\circ$. Les trajets de longueur supérieure à 3 000 km sont divisés en deux parties égales et on détermine k pour chaque partie à partir de l'équation (11). La moyenne algébrique des deux valeurs de k (k_{eff}) sert alors pour calculer le champ (voir également la Fig. 9).

2.7 Coefficient d'affaiblissement horaire

Le coefficient d'affaiblissement horaire, L_t (dB), est donné à la Fig. 3. t représente le nombre d'heures après le coucher ou le lever du Soleil selon le cas. Ces heures sont prises au niveau du sol, au point milieu du trajet pour des trajets dont d est inférieur à 2 000 km. Pour les trajets supérieurs à 2 000 km, ces heures sont déterminées à 750 km de chaque extrémité, et l'heure choisie est telle que l'angle d'élévation solaire est supérieur. Les fortes valeurs du coefficient d'affaiblissement horaire au voisinage de la mi-journée ne sont pas définies (voir la Fig. 3). Pour des heures de cette période, on utilisera une valeur limite de 30 dB. Le coefficient d'affaiblissement horaire ne doit pas être calculé pour les trajets aux latitudes élevées pour lesquels le lever ou le coucher du Soleil ne se produit pas, ni pour les saisons pendant lesquelles il en est de même.

Les équations qui équivalent généralement à ces courbes à 0,5 dB près sont données au § 1 de l'Appendice 1. La Fig. 3 représente la variation diurne moyenne annuelle.

La Fig. 11 donne l'heure du coucher et du lever du Soleil en fonction de l'époque de l'année et de la latitude géographique. Les équations équivalant à ces courbes pour le coucher et le lever du Soleil sont données au § 2 de l'Appendice 1.

2.8 Coefficient d'affaiblissement tenant compte de l'activité solaire

L_r est le coefficient d'affaiblissement qui tient compte de l'activité solaire; il est donné par les formules suivantes:

$$\begin{aligned} \text{dans la bande des ondes kilométriques,} & \quad L_r = 0 \\ \text{dans la bande des ondes hectométriques, si } |\Phi| \leq 45^\circ, & \quad L_r = 0 \\ \text{dans la bande des ondes hectométriques, si } |\Phi| > 45^\circ, & \quad L_r = b(R/100)(p/1000) \quad \text{dB} \quad (12) \end{aligned}$$

où:

$$b = (|\Phi| - 45)/3 \quad \text{sauf en Europe où on prend} \quad (13)$$

$b = 1$ quelle que soit la latitude.

Les trajets de longueur supérieure à 3 000 km sont divisés en deux parties égales, comme indiqué au § 2.6. Les valeurs de L_r sont évaluées pour chacune des parties, puis additionnées.

3 Variations du champ nocturne d'un jour à l'autre et durant de courtes périodes

La différence, $\Delta(w)$, où w prend généralement la valeur de 10 ou 1, entre le champ dépassé pendant w % du temps et la valeur médiane annuelle, pour un nombre d'heures donné après le coucher ou le lever du soleil, est donnée par:

$$\text{dans la bande des ondes kilométriques: } \Delta(10) = 6,5 \quad \text{dB} \quad (14)$$

$$\text{et } \Delta(1) = 11,5 \quad \text{dB} \quad (15)$$

$$\text{dans la bande des ondes hectométriques: } \Delta(10) = 0,2 |\Phi| - 2 \quad \text{dB} \quad (16)$$

$$\text{et } \Delta(1) = 0,2 |\Phi| + 3 \quad \text{dB} \quad (17)$$

Dans la formule (16), $\Delta(10)$ est supérieur ou égal à 6 dB mais inférieur ou égal à 10 dB. Dans la formule (17), $\Delta(1)$ est supérieur ou égal à 11 dB mais inférieur ou égal à 15 dB.

FIGURE 4a

Courbes représentant E_0 pour la bande des ondes kilométriques, dans le cas où G_s , L_p et R sont tous égaux à zéro et pour des valeurs constantes de la latitude géomagnétique

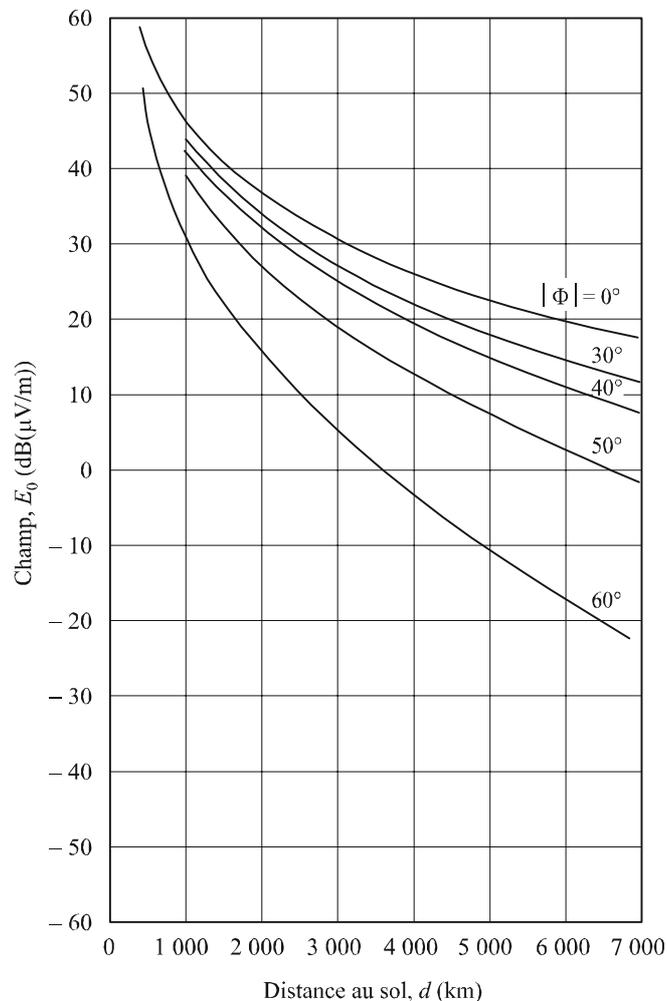
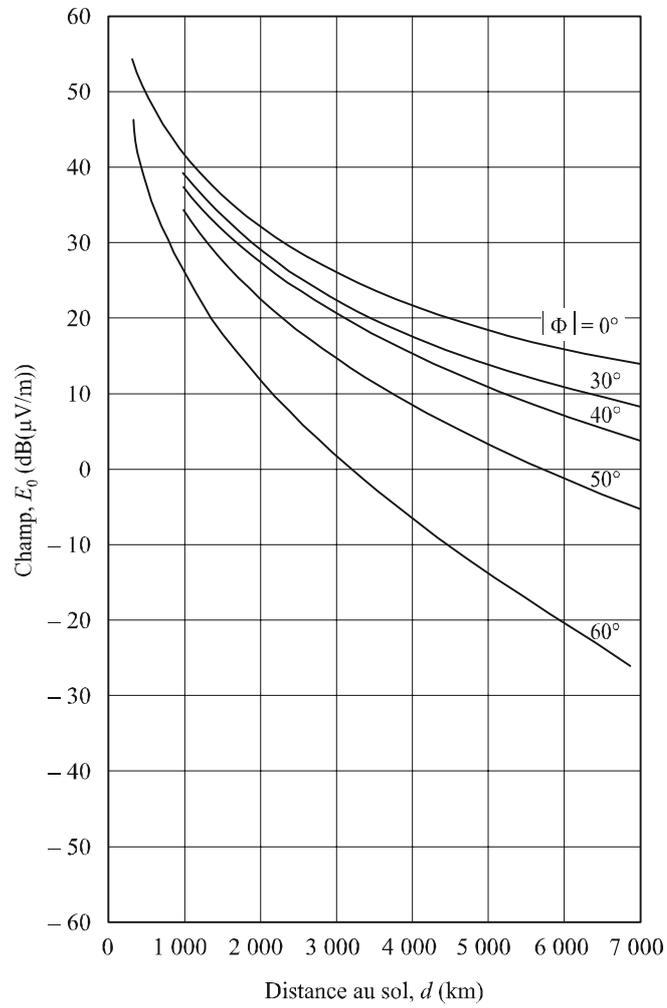


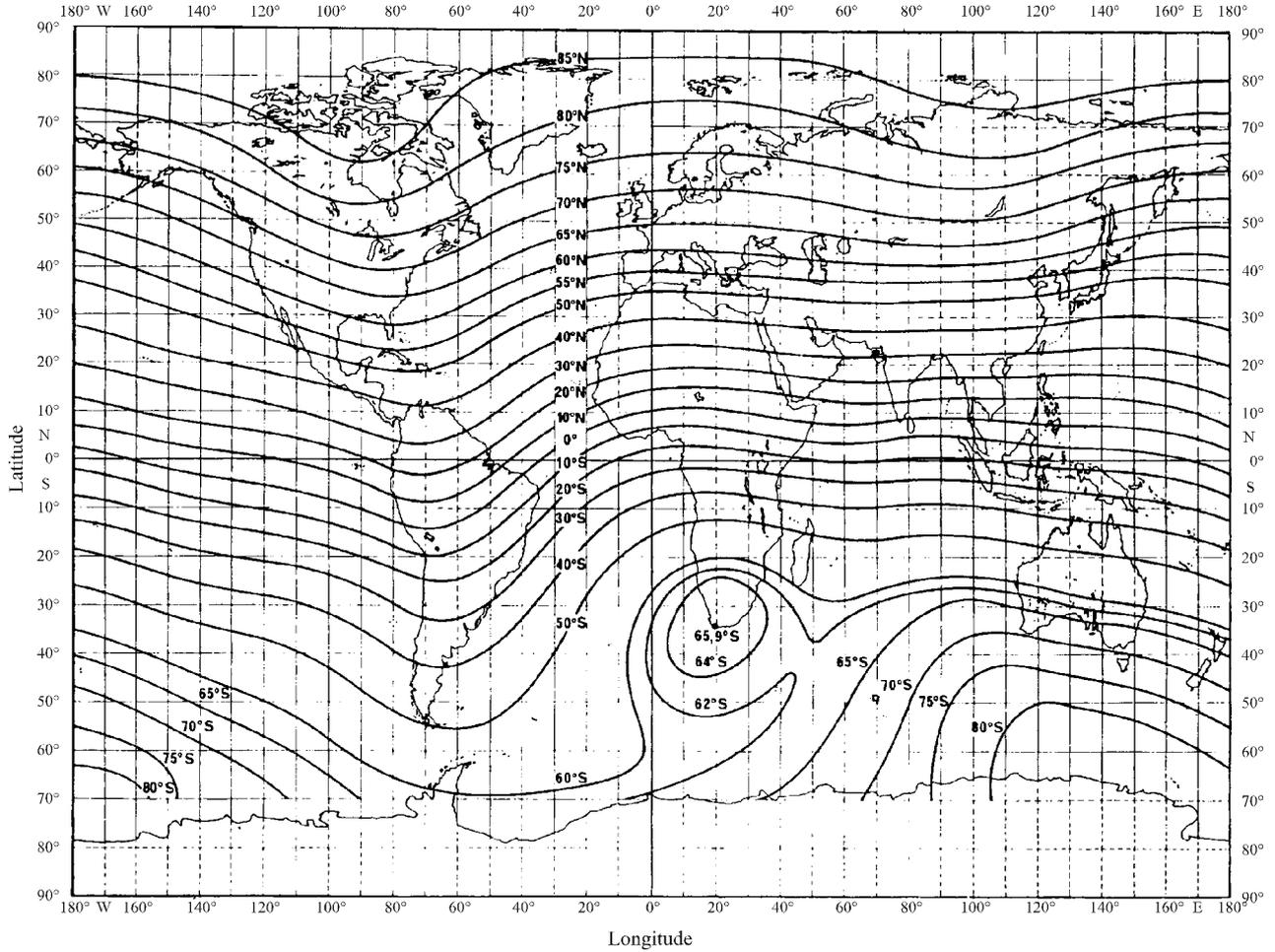
FIGURE 4b

Courbes représentant E_0 pour la bande des ondes hectométriques, dans le cas où G_s , L_p et R sont tous égaux à zéro et pour des valeurs constantes de la latitude géomagnétique



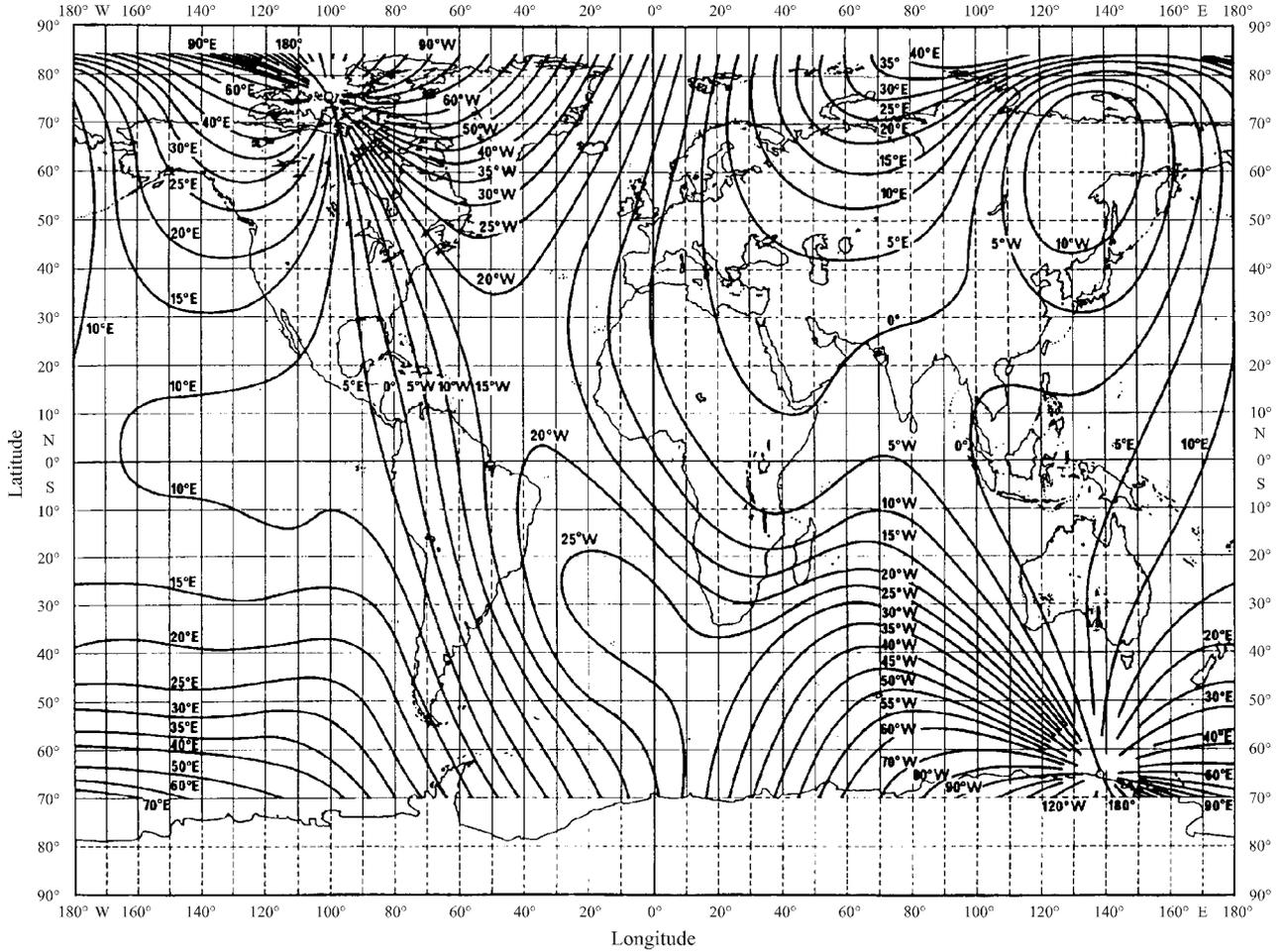
Note 1 – En ce qui concerne les applications dans le sud de la Région 3, ajouter 3 dB.

FIGURE 5
Carte de l'inclinaison magnétique (pour 1975,0)



(Source: Magnetic inclination or dip (epoch 1975.0) Chart No. 30 World U.S. Defense Mapping Agency Hydrographic Center)

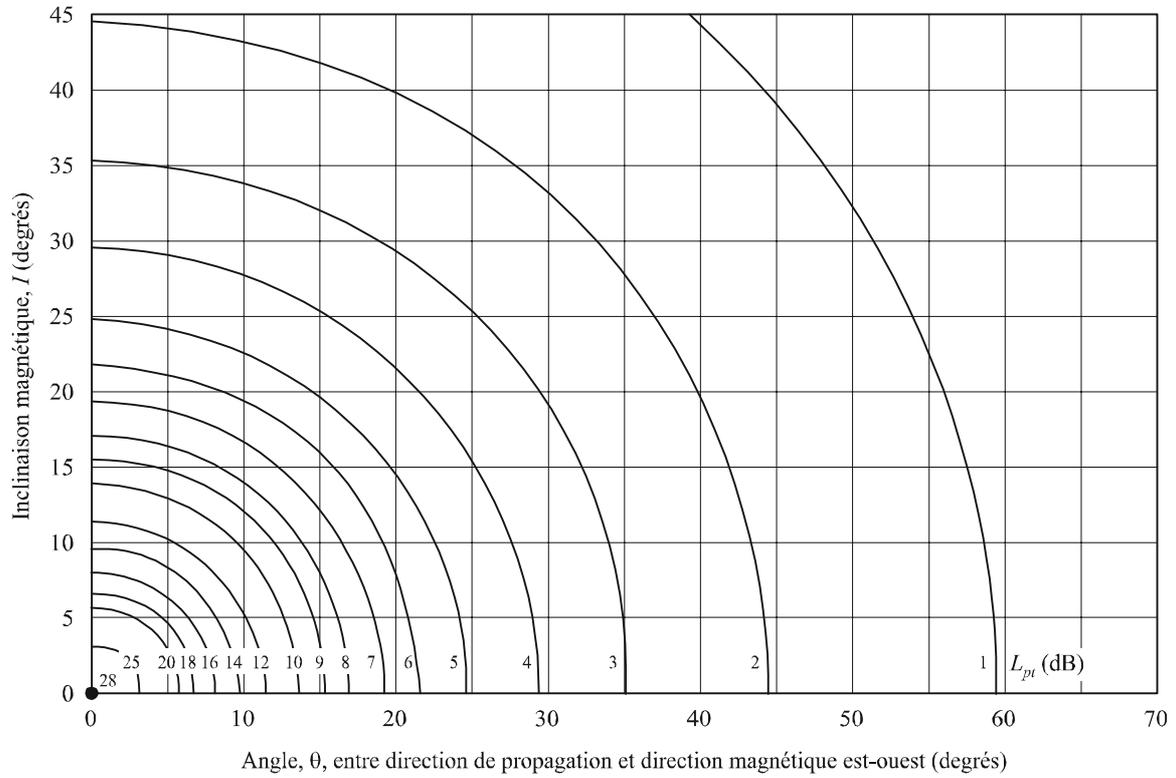
FIGURE 6
Carte de déclinaison magnétique (pour 1975,0)



(Source: Magnetic variation (epoch 1975,0) Chart No. 42 World U.S. Defence Mapping Agency Hydrographic Center)

FIGURE 7

Surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation L_p (pour une seule extrémité)



$$L_p = 180 (36 + \theta^2 + I^2)^{-1/2} - 2$$

1147-07

FIGURE 8a

Valeurs de r_1 pour diverses fréquences

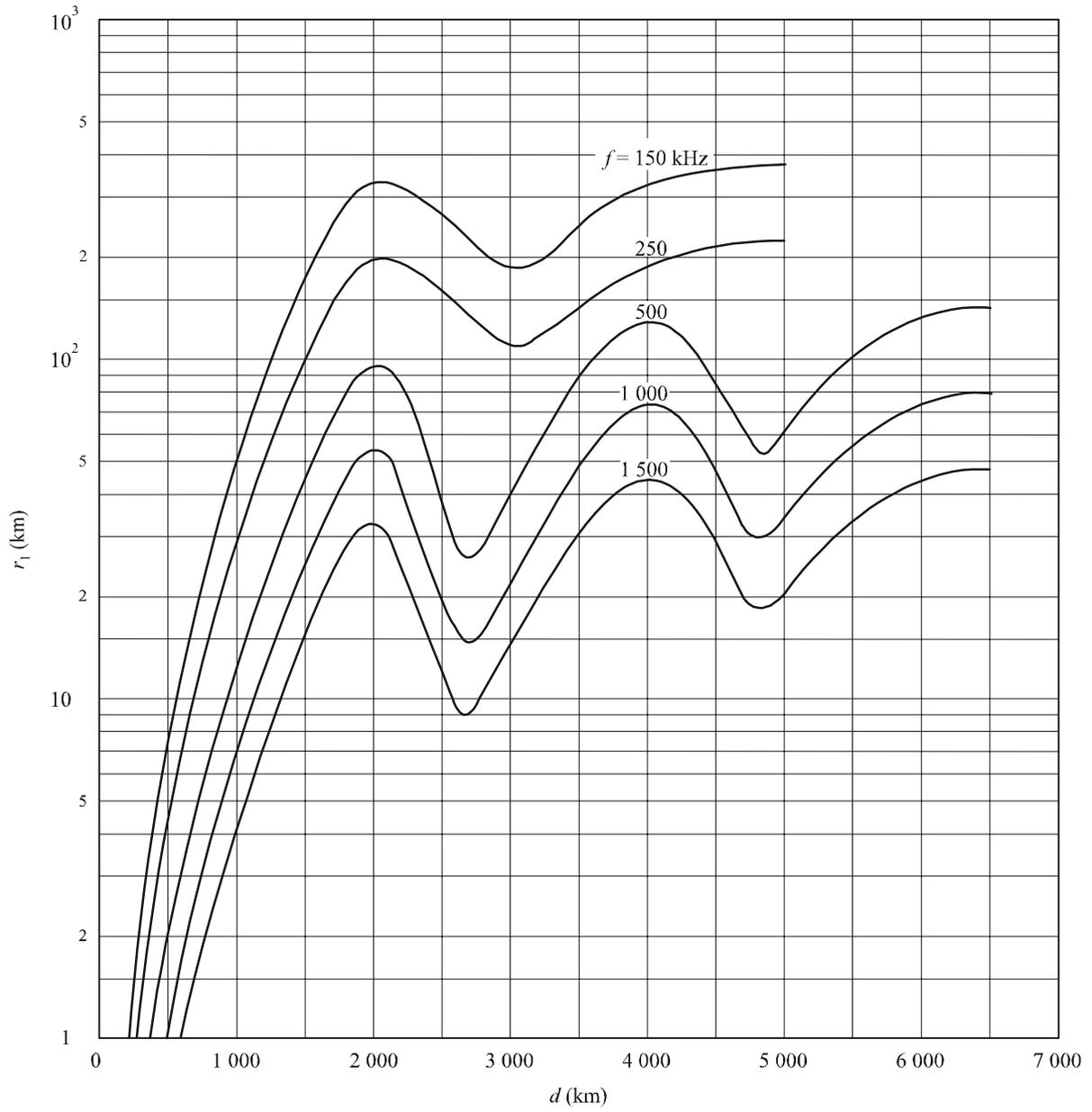


FIGURE 8b

Valeurs de r_2 pour diverses fréquences

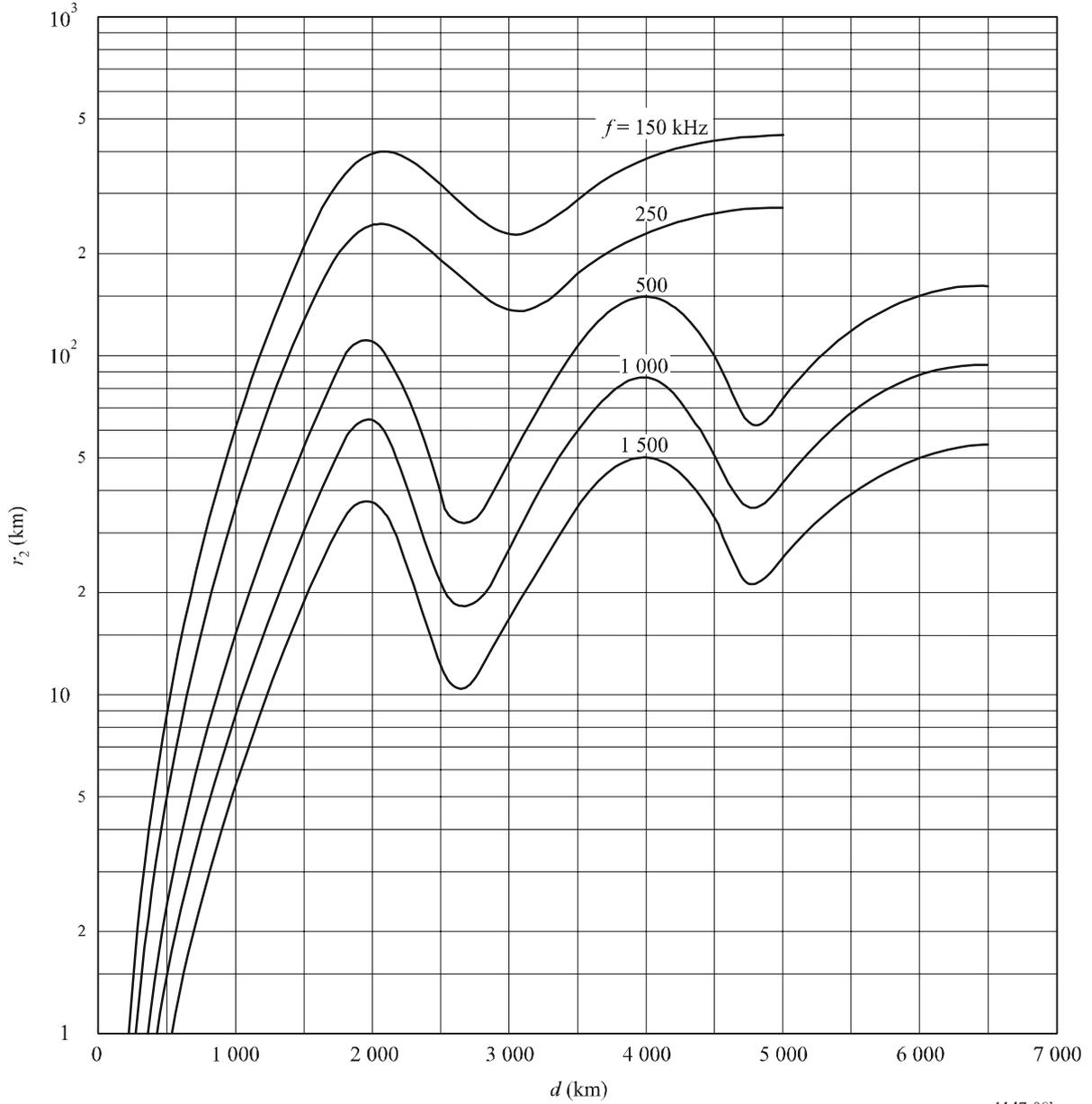
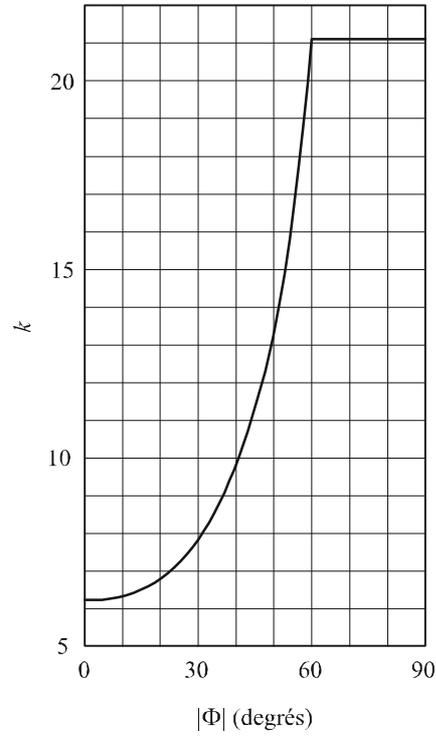


FIGURE 9

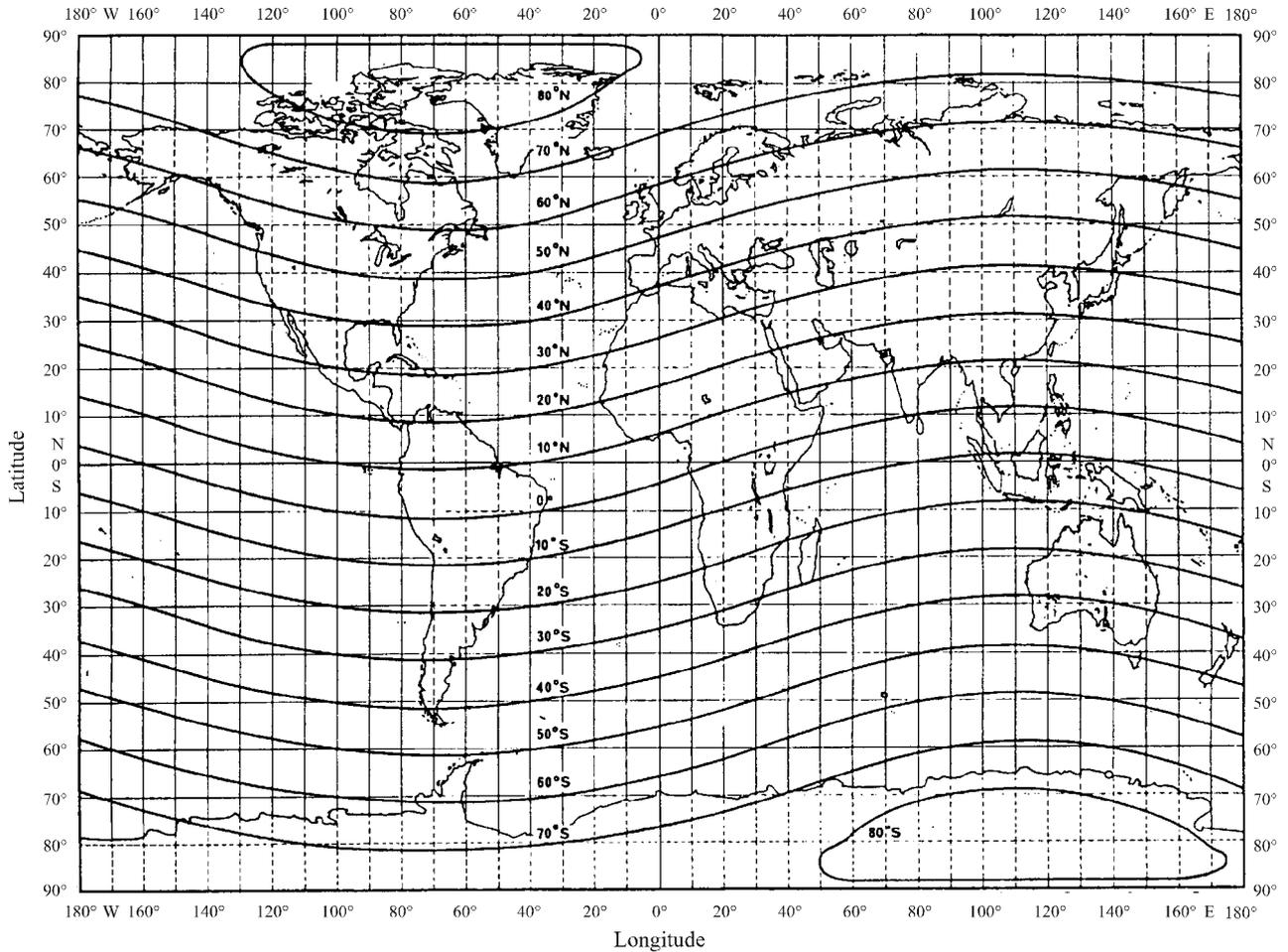
Coefficient d'affaiblissement de transmission de référence



$$k = (2\pi + 4,95 \text{ tg}^2 \Phi) \quad \text{pour } |\Phi| \leq 60^\circ$$

1147-09

FIGURE 10
Latitudes géomagnétiques



$$\Phi = \text{arc sin} [\sin \alpha \cdot \sin 78,5^\circ + \cos \alpha \cdot \cos 78,5^\circ \cdot \cos (69^\circ + \beta)]$$

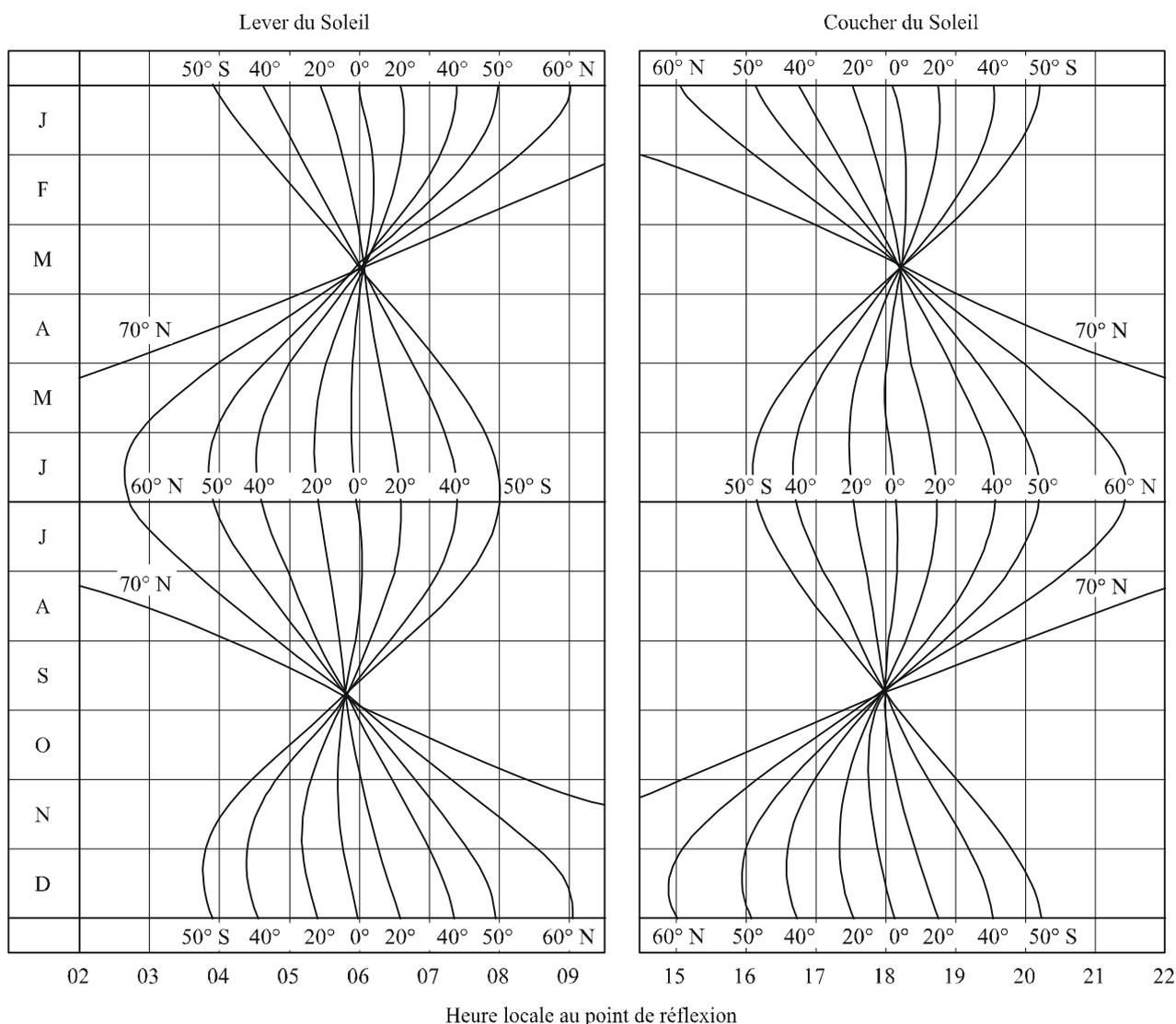
Φ : latitude géomagnétique

α : latitude géographique

β : longitude géographique

Les coordonnées nord et est sont considérées comme positives et les coordonnées sud et ouest négatives.

FIGURE 11
 Heure du lever et du coucher du Soleil pour les différents mois
 et en fonction de la latitude géographique



1147-11

Appendice 1

Le présent Appendice contient des équations susceptibles de remplacer les Fig. 3 et 11, pour évaluer le coefficient d'affaiblissement horaire et les heures du coucher et du lever du Soleil. Les symboles supplémentaires suivants sont utilisés dans le présent Appendice:

Liste des symboles

- α : latitude géographique d'un point sur le trajet (degrés)
- β : longitude géographique d'un point sur le trajet (degrés)
- S : heure moyenne locale du coucher ou du lever du Soleil à un point donné (h).

Les coordonnées nord et est sont supposées être positives et les coordonnées sud et ouest négatives.

1 Coefficient d'affaiblissement horaire, L_t

Ces équations peuvent être utilisées à la place des courbes de la Fig. 3, dans les limites fixées de t . Pour les heures intermédiaires (par exemple, autour de minuit), $L_t = 0$.

$$L_t \text{ (coucher)} = 12,40 - 9,248 t + 2,892 t^2 - 0,3343 t^3 \quad \text{pour } -1 < t \text{ (coucher)} < 4$$

$$L_t \text{ (lever)} = 9,6 + 12,2 t + 5,62 t^2 + 0,86 t^3 \quad \text{pour } -3 < t \text{ (lever)} < 1$$

où t représente l'heure comptée à partir du coucher ou du lever du Soleil au point milieu du trajet.

2 Heures du coucher et du lever du Soleil

Pour les sites en dehors des régions polaires, c'est-à-dire pour lesquels $|\alpha| < 65^\circ$, les heures du coucher et du lever du Soleil peuvent être calculées, avec une précision de ± 2 min, comme indiqué ci-après:

N : jour de l'année, par exemple: 1^{er} janvier = 1

S' : heure locale, approximative de l'événement, par exemple: coucher du Soleil: 1800 h, lever du Soleil: 0600 h

Z : distance zénithale du Soleil (degrés) = $90,8333^\circ$ ($90^\circ 50'$) pour le coucher ou le lever du Soleil.

Etape 1: Calculer la longitude de l'observateur, B :

$$B = \beta / 15 \quad \text{h}$$

Etape 2: Calculer la date de l'événement, Y :

$$Y = N + (S' - B) / 24 \quad \text{jours}$$

Etape 3: Calculer l'anomalie moyenne du Soleil, M :

$$M = 0,985600 Y - 3,289 \quad \text{degrés}$$

Etape 4: Calculer la longitude du Soleil, L :

$$L = M + 1,916 \sin M + 0,020 \sin 2 M + 282,634 \quad \text{degrés}$$

Noter dans quel quadrant se situe L .

Etape 5: Calculer l'ascension droite du Soleil, RA :

$$\text{tg } RA = 0,91746 \text{ tg } L$$

Noter que RA doit se trouver dans le même quadrant que L .

Etape 6: Calculer la déclinaison du Soleil, s :

$\sin s = 0,39782 \sin L$, d'où:

$$\cos s = + \sqrt{1 - \sin^2 s}$$

Noter que s peut être positif ou négatif mais que $\cos s$ doit toujours être positif.

Etape 7: Calculer l'heure solaire locale (exprimée en unité d'angle), H :

$$\cos H = x = (\cos Z - \sin s \cdot \sin \alpha) / (\cos s \cdot \cos \alpha)$$

Noter que si $|x| > 1$, il n'y a ni lever ni coucher du Soleil.

A partir de $\cos H$, on obtient H en degrés; pour le lever du Soleil: $180 < H < 360$, pour le coucher du Soleil: $0 < H < 180$.

Etape 8: Calculer l'heure (temps local moyen) de l'événement, S :

$$S = H / 15 + RA / 15 - 0,065710 Y - 6,622$$

Noter que S est exprimé en heures et que des multiples de 24 doivent être ajoutés ou retranchés jusqu'à ce que $0 < S < 24$.

A noter que S représente l'heure locale au point concerné. Le temps légal correspondant est $S - B + \beta_m / 15$ (h), où β_m est la longitude du méridien de référence pour la zone de temps concernée (degrés), de sorte que, par exemple, le temps universel = $S - B$.

Annexe 1

Précision de la méthode

La méthode s'applique dans les bandes des ondes kilométriques et des ondes hectométriques, pour des trajets de longueur comprise entre 50 et 12 000 km. Elle n'a cependant été vérifiée, dans la bande des ondes kilométriques, que pour des longueurs de trajet inférieures à 7 500 km.

Le traitement spécial réservé à la partie sud de la Région 3 aurait pu ne pas être nécessaire si la «latitude magnétique corrigée» avait été utilisée à la place de la latitude géomagnétique. De toute façon, la méthode ne doit être utilisée qu'avec précaution aux latitudes géomagnétiques supérieures à 60°.

La formule (6) qui décrit la façon dont G_S est modifié par la valeur de la distance s_2 jusqu'au segment de terre suivant est théorique et doit donc être considérée comme provisoire en attendant de disposer de résultats de mesures.

La méthode prévoit le champ qui devrait être observé si l'émetteur et le récepteur sont situés sur un sol de conductivité moyenne, généralement de 3 à 10 mS/m. Dans certaines zones (voir, par exemple, la Recommandation UIT-R P.832), la conductivité réelle peut tomber à 0,5 mS/m ou atteindre 40 mS/m. Si la conductivité du sol à l'une ou à l'autre extrémité est d'un ordre de grandeur inférieur à 10 mS/m, le champ pourra avoir jusqu'à 10 dB de moins. Si la conductivité du sol aux deux extrémités est d'un ordre de grandeur inférieur à 10 mS/m, la réduction du champ sera doublée. La valeur de l'affaiblissement est fonction de la longueur du trajet et elle est la plus forte pour les ondes s'approchant de l'incidence rasante. La méthode peut être améliorée en faisant une correction lorsque la conductivité du sol est sensiblement différente de celle d'un sol moyen, par exemple en utilisant les renseignements donnés dans le Manuel de l'UIT-R sur l'ionosphère et ses effets sur la propagation des ondes radioélectriques.

Dans cette méthode, on suppose que la réflexion ne se produit que sur la couche E, ou que les réflexions par la couche E sont prépondérantes. Cependant, si $f > (foE) \sec i$, où foE est la fréquence critique de la couche E et i est l'angle d'incidence sur la couche E, l'onde traversera la couche E et sera réfléchi par la couche F. Ceci apparaîtra principalement dans le haut de la bande des ondes hectométriques, pour des distances inférieures à 500 km, et surtout tard dans la nuit et pendant les périodes d'activité solaire minimale. Dans ce cas, la méthode peut encore être utilisée à condition de calculer p en tenant compte d'une réflexion sur la couche F à une hauteur de 220 km, et de calculer la force cymomotrice V pour l'angle d'élévation correspondant.

Des mesures faites aux Etats-Unis d'Amérique conduisent à penser que la Fig. 3 (coefficient d'affaiblissement horaire) est vraisemblablement précise pour les fréquences voisines de 1 000 kHz pour une année de faible activité solaire. Lorsque la fréquence s'écarte de cette valeur, surtout pendant les heures de transition, on risque de commettre des erreurs appréciables. Ces mesures montrent aussi que l'effet de l'activité solaire est considérablement plus grand deux heures après le coucher du Soleil que six heures après. Pour une année de forte activité solaire, la différence entre le champ six heures après le coucher du Soleil et le champ deux heures après peut donc être beaucoup plus grande que celle qui apparaît sur la Fig. 3.

La nuit, les ondes hectométriques qui se propagent par l'ionosphère aux latitudes tempérées ont un champ plus intense au printemps et en automne qu'en été et en hiver, le champ minimal se produisant en été. La variation totale peut atteindre 15 dB aux fréquences les plus basses de la bande des ondes hectométriques, pour tomber à environ 3 dB dans la partie supérieure de la bande. Aux ondes kilométriques, on observe une tendance opposée de la variation saisonnière pendant la nuit, avec un maximum d'été prononcé. La variation saisonnière est beaucoup plus faible aux latitudes tropicales.

Annexe 2

Considérations sur la propagation de l'onde ionosphérique pendant la journée

1 Cas des ondes kilométriques

Pour les ondes kilométriques, les valeurs du champ en milieu de journée sont inférieures de 7 à 45 dB aux valeurs du champ en milieu de nuit. L'écart dépend de la fréquence, de la distance et de la saison (voir également la Recommandation UIT-R P.684).

2 Cas des ondes hectométriques

La représentation graphique du champ de l'onde ionosphérique en milieu de journée en fonction de la saison à partir des données disponibles montre une variation cohérente comportant une valeur maximale pendant l'hiver. Le champ moyen pendant l'hiver est supérieur de 10 dB environ à la valeur médiane annuelle et le rapport hiver/été peut dépasser 30 dB. La valeur médiane annuelle du champ en milieu de journée est inférieure de 43 dB environ à la valeur médiane annuelle du champ six heures après le coucher du Soleil. Le champ dépassé pendant 10% des jours de l'année est supérieur de 13 dB environ à la valeur médiane annuelle. Voir également le Manuel de l'UIT-R sur l'ionosphère et ses effets sur la propagation des ondes radioélectriques.
