

RECOMMANDATION 683*

**MÉTHODE DE PRÉVISION DU CHAMP DE L'ONDE IONOSPHERIQUE
POUR LA PROPAGATION VERS LES AÉRONEFS A 500 kHz ENVIRON**

(Programme d'études 31D/6)

(1990)

Le CCIR,

CONSIDÉRANT

- a)* que la Question 53-2/8, relative à l'utilisation par le service mobile maritime de fréquences dans la bande 435-526,5 kHz, demande, entre autres choses, quels sont les critères de partage avec d'autres services, compte tenu des modes de propagation pour une antenne de réception située bien au-dessus du niveau du sol;
- b)* que la Recommandation 435 donne une méthode de prévision du champ de l'onde ionosphérique pour des récepteurs placés près du sol et que le § 6 de l'Annexe I à cette Recommandation fournit des renseignements sur la précision de cette méthode,

RECOMMANDE A L'UNANIMITÉ

d'utiliser la méthode décrite à l'Annexe I pour la prévision du champ de l'onde ionosphérique à 500 kHz environ à proximité d'aéronefs volant à haute altitude.

ANNEXE I

1. Introduction

Cette méthode de prévision donne le champ nocturne de l'onde ionosphérique dans la position occupée par un aéronef, pour une valeur donnée de la puissance rayonnée à 500 kHz par une antenne verticale courte. Elle s'applique à des trajets de longueur inférieure ou égale à 4000 km et il convient de l'utiliser avec prudence aux latitudes géomagnétiques supérieures à 60°.

Le plus souvent, le champ de l'onde ionosphérique est polarisé elliptiquement lorsqu'il atteint l'aéronef. Les antennes des aéronefs sont susceptibles de réagir différemment à des champs verticaux et à des champs horizontaux; l'effet combiné de ces champs peut dépendre des dimensions de l'aéronef et de son cap par rapport à la direction d'arrivée de l'onde. En outre, l'onde ionosphérique descendante sera réfléchiée par le sol et le champ à l'aéronef dépendra donc aussi du coefficient de réflexion et de l'angle d'arrivée de l'onde descendante. Il faut ajouter que l'emplacement du point de réflexion varie rapidement en fonction du déplacement de l'aéronef. De plus, il peut exister d'importantes différences entre les champs prévus et les données mesurées pour de faibles angles d'arrivée.

En conséquence, la méthode de prévision donne uniquement les composantes maximales du champ (verticale et horizontale) qui seraient mesurées à proximité de l'aéronef, compte tenu des réflexions locales au sol.

On trouvera au § 2 les formules qui donnent le champ de l'onde descendante et, au § 3, les formules qui donnent les valeurs maximales des composantes verticale et horizontale du champ électrique à proximité de l'aéronef.

* Cette Recommandation est portée à l'attention de la Commission d'études 8.

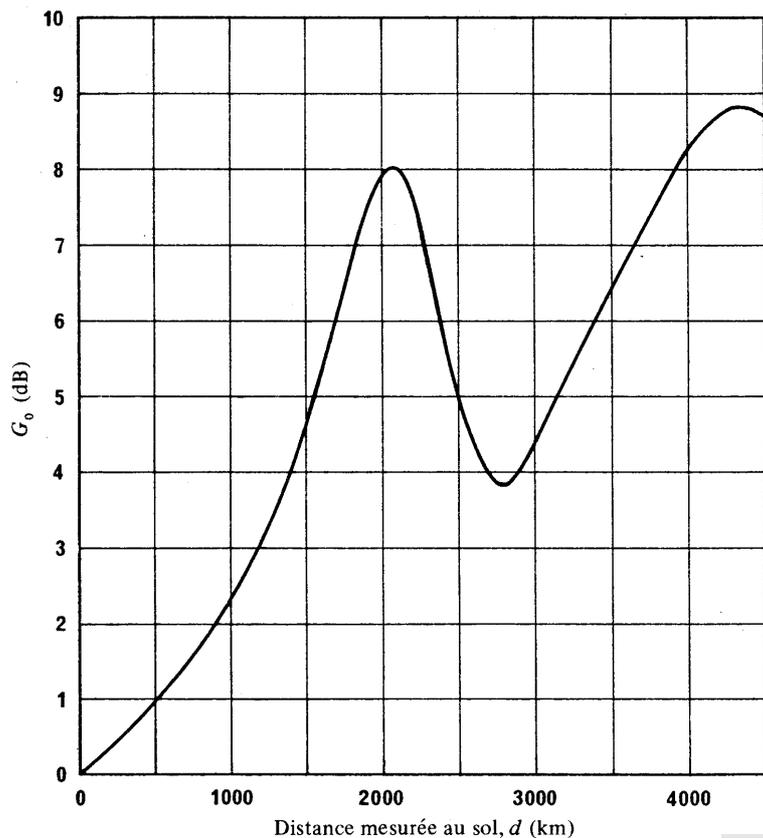
2. Champ de l'onde ionosphérique descendante

Le plus souvent, l'onde ionosphérique descendante est polarisée elliptiquement. La puissance surfacique de l'onde descendante peut être représentée par un champ équivalent dont l'expression est la suivante:

$$E_D = V + G_S + G_0 - L_{pt} + A_0 - 20 \log p - 10^{-3} k_R p - L_t \quad (1)$$

dans laquelle:

- E_D : 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, pour l'onde descendante,
- V : force cymomotrice de l'émetteur, en dB, par rapport à une force cymomotrice de référence de 300 V (voir § 2.2),
- G_S : correction du gain dû à la proximité de la mer, à l'emplacement de l'émetteur (dB) (voir § 2.3),
- G_0 : paramètre représenté dans la Fig. 1 en fonction de d (dB),
- L_{pt} : surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation, en dB (voir § 2.4),
- $A_0 = 101,6 - 2 \sin \Phi$, Φ étant donné par la formule (12),
- p : longueur du chemin parcouru par l'onde (en km) (voir § 2.5),
- k_R : coefficient d'affaiblissement tenant compte de l'absorption ionosphérique, de la focalisation et des affaiblissements aux extrémités et entre bonds dans le cas des trajets à plusieurs bonds (voir § 2.6),
- L_t : coefficient d'affaiblissement horaire (dB) (voir § 2.7).



D01-sc

FIGURE 1 – Gain dû à la proximité de la mer (G_0), pour un émetteur situé sur la côte

Note. – Cette courbe n'est pas identique à la courbe A de la Fig. 2 de la Recommandation 435, car elle s'applique à la fréquence de 500 kHz.

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 , a pour expression:

$$V = P + 20 \log (d / p) \quad (2)$$

où:

P : puissance rayonnée (dB(1 kW))

d : distance mesurée sur la surface de la Terre (km)

p : longueur du chemin parcouru par l'onde (km).

Sur les trajets de longueur supérieure à 1000 km, V est très sensiblement égal à P .

Note – La force cymomotrice de 0 dB (300 V) correspond à une p.a.r.v. de 1 kW.

2.3 Gain dû à la proximité de la mer

G_S est le gain supplémentaire qui se manifeste lorsque l'émetteur est situé près de la mer; il ne s'applique pas dans le cas de la propagation au-dessus de l'eau douce. G_S est donné par:

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

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

Dans ces formules:

G_0 : gain dans le cas où l'émetteur est situé sur la côte et où la mer n'est pas occultée par un autre segment terrestre,

c_1 : correction destinée à tenir compte de la distance entre l'émetteur 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.

G_0 est donné, sur la Fig. 1, en fonction de d .

Le facteur de correction c_1 est donné par:

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

formule dans laquelle:

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

$$r_1 = 1,4 G_0^2 \text{ (km)}$$

Le facteur de correction c_2 est donné par:

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

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

où:

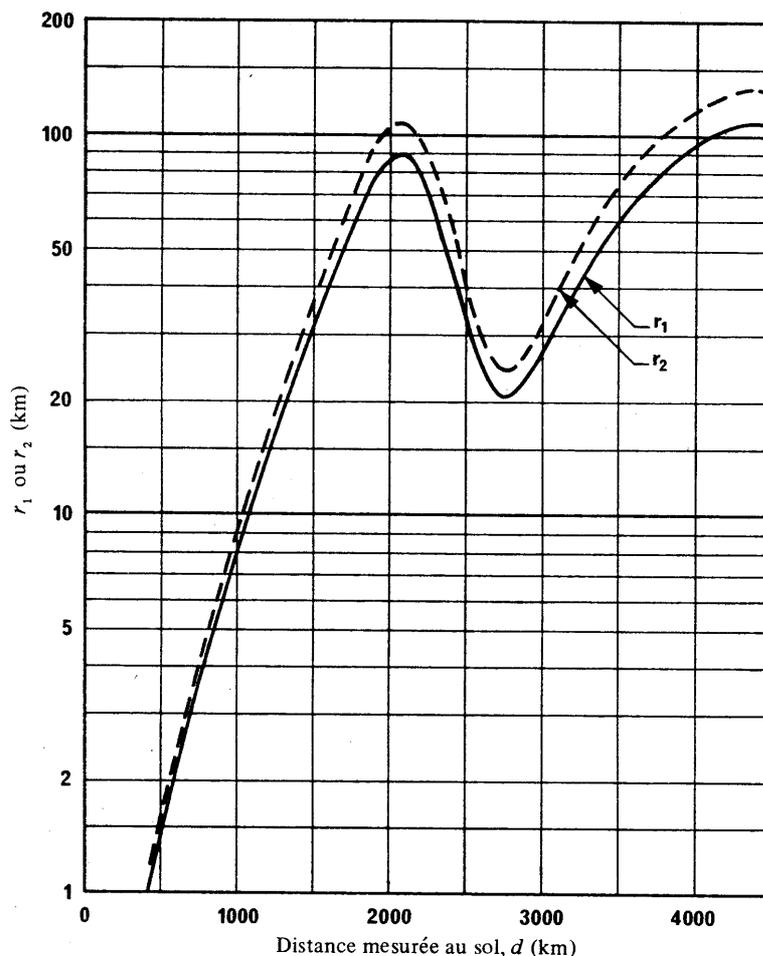
s_2 : distance de l'émetteur à la section terrestre suivante, mesurée le long de l'arc de grand cercle, en km,

$$r_2 = 1,7 G_0^2 \text{ (km)}.$$

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 dans la formule (6), 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. 2 qui représente r_1 , distance maximale à la mer pour laquelle il y a lieu de calculer le gain dû à la mer, et également qui représente r_2 , distance maximale à la prochaine section de terre pour laquelle il y a lieu d'appliquer la correction c_2 .

FIGURE 2 – Valeurs de r_1 et r_2

D02-sc

2.4 Affaiblissement par couplage de polarisation à l'émetteur, L_{pt}

L_{pt} est le surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation, donné par l'une des deux formules suivantes:

$$L_{pt} = 180 (36 + \theta^2 + I^2)^{-1/2} - 2 \quad \text{dB si } I \leq 45^\circ$$

$$L_{pt} = 0 \quad \text{si } I > 45^\circ \quad (8)$$

où I est l'inclinaison magnétique nord ou sud en degrés à l'émetteur 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° . Pour θ et I , il convient d'utiliser les valeurs les plus précises de l'inclinaison et de la déclinaison magnétiques dont on dispose. (Voir par exemple les Fig. 11 et 12 de la Recommandation 435.)

La Fig. 3 représente les valeurs de L_{pt} calculées d'après la formule (8).

2.5 Longueur du trajet parcouru par l'onde

Pour les trajets d'une longueur supérieure à 1000 km, p est sensiblement égal à la distance au sol d . 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 distance. Afin d'éviter toute discontinuité du champ en fonction de la distance, cette formule devra être utilisée dans tous les cas où la gamme des distances concernée comporte des distances inférieures à 1000 km et des distances supérieures à 1000 km.

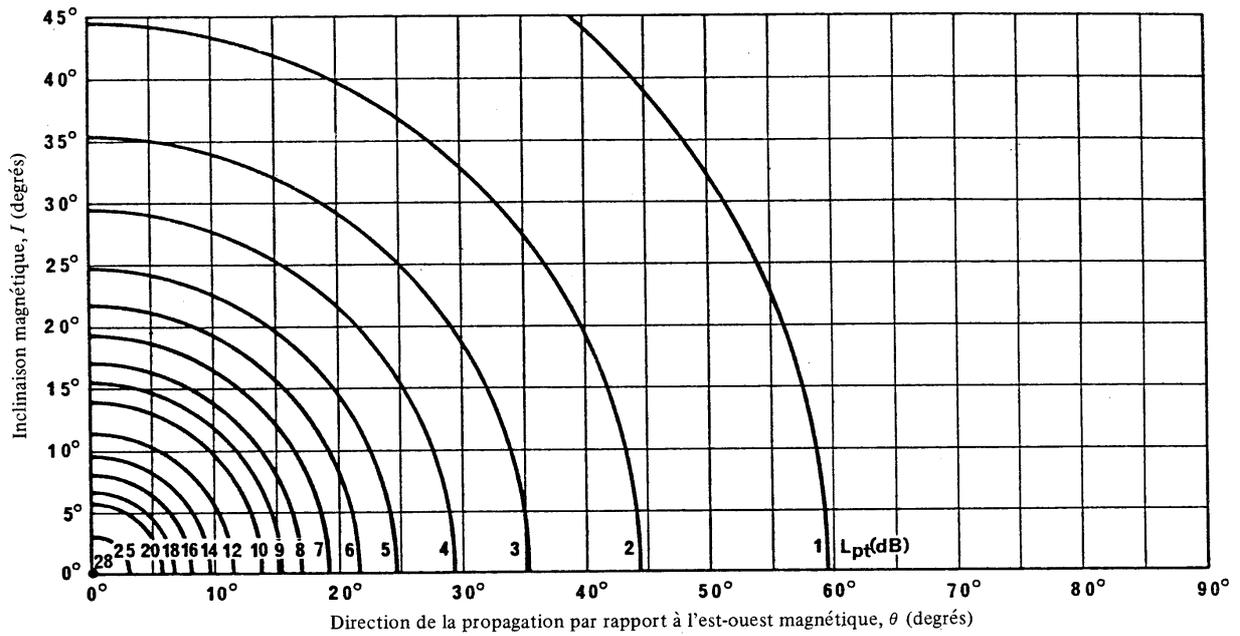


FIGURE 3 – Surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation, L_{pt}

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

D03-sc

2.6 Coefficient d'affaiblissement

Le coefficient d'affaiblissement k_R est donné par:

$$k_R = k + 10^{-2} b R \tag{10}$$

où:

R : moyenne glissante sur douze mois du nombre relatif international de taches solaires et

$b = 4$ pour les trajets situés en Amérique du Nord,

$b = 1$ pour les trajets situés en Europe et en Australie et

$b = 0$ partout ailleurs.

Le coefficient d'affaiblissement k est donné par:

$$k = 3,2 + 2,28 \operatorname{tg}^2(\Phi + 3) \tag{11}$$

Si Φ est supérieur à 60° , on utilise la formule (11) avec $\Phi = 60^\circ$. Si Φ est inférieur à -60° , on utilise la formule (11) avec $\Phi = -60^\circ$. La Fig. 15 de la Recommandation 435 (courbe 500 kHz) représente les valeurs de k , calculées à partir de la formule (11), conformément à ces règles.

Pour les trajets d'une longueur inférieure à 3000 km, on prend:

$$\Phi = 0,5 (\Phi_T + \Phi_R) \tag{12}$$

où Φ_T et Φ_R sont respectivement les latitudes géomagnétiques du point d'émission et du point de réception, déterminées en assimilant le champ magnétique terrestre à celui d'un dipôle placé au centre de la Terre et dont le pôle Nord a pour coordonnées géographiques $78,5^\circ$ N et 69° O. Φ_T et Φ_R sont positifs dans l'hémisphère Nord et négatifs dans l'hémisphère Sud (voir la Fig. 16 de la Recommandation 435). Les trajets d'une longueur dépassant 3000 km sont divisés

en deux parties égales que l'on considère séparément. On prend pour valeur de Φ de chaque demi-trajet la moyenne de la latitude géomagnétique d'une extrémité et de celle du point milieu du trajet total, cette dernière étant supposée égale à la moyenne de Φ_T et Φ_R , de sorte que:

$$\Phi = 0,25 (3\Phi_T + \Phi_R) \quad \text{pour la première moitié du trajet et} \quad (13)$$

$$\Phi = 0,25 (\Phi_T + 3\Phi_R) \quad \text{pour la seconde moitié} \quad (14)$$

On prend alors la moyenne des valeurs de k calculées à partir de la formule (11) pour chaque demi-trajet et on la porte dans la formule (10).

2.7 Coefficient d'affaiblissement horaire

Le coefficient d'affaiblissement horaire L_t est donné à la Fig. 3 de la Recommandation 435, qui représente la moyenne des variations horaires du champ médian annuel pour l'Europe et l'Australie, calculée d'après les Fig. 2 et 6 du Rapport 431; t représente le nombre d'heures après le coucher ou avant le lever du Soleil selon le cas. Ces heures sont prises au point milieu du trajet, au niveau du sol, lorsque d est inférieure à 2000 km et, pour les trajets plus longs, à 750 km de l'extrémité où le Soleil se couche en dernier ou se lève en premier.

La Fig. 17 de la Recommandation 435 donne l'heure du coucher et du lever du Soleil en fonction de l'époque de l'année et de la latitude.

3. Champ à proximité d'un aéronef

L'onde ionosphérique descendante subit la réflexion au sol et le champ résultant à proximité de l'aéronef est la somme vectorielle de l'onde ionosphérique descendante et de l'onde de sol réfléchie. Ce champ sera maximal lorsque les deux ondes sont en phase. On admet que le champ résultant est supérieur de 6 dB à celui de l'onde descendante, parce que l'addition en phase est toujours possible.

Le champ électrique résultant peut être décomposé en une composante horizontale transversale, E_{HT} , et une composante située dans le plan vertical. Cette dernière composante, qui n'est pas elle-même verticale, peut être décomposée à son tour en une composante verticale E_V et une composante horizontale longitudinale, E_{HL} .

Il convient de noter que le champ total peut également contenir une onde de sol: par exemple, pour les aéronefs volant à une altitude d'environ 11 km, l'onde de sol peut être reçue jusqu'à des distances atteignant 400 km. Toutefois, il n'est pas tenu compte de cette onde dans la méthode de prévision.

3.1 Composante verticale

La valeur maximale du champ électrique vertical, E_V , dans la position occupée par l'aéronef, est donnée par:

$$E_V = E_D - L_{pv} + 5 + 20 \log (d/p) \quad (15)$$

où:

L_{pv} : surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation, dans le récepteur, pour une polarisation verticale.

L_{pv} est donné par la formule (8), dans laquelle on remplace L_{pt} par L_{pv} . Il convient d'utiliser les valeurs de θ et de I obtenues pour la position occupée par l'aéronef.

3.2 Composante horizontale transversale

La valeur maximale du champ électrique horizontal transversal, E_{HT} , dans la position occupée par l'aéronef, est donnée par:

$$E_{HT} = E_D - L_{ph} + 6 \quad (16)$$

où:

L_{ph} : surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation, pour une polarisation horizontale.

La Fig. 4 représente les variations de L_{ph} . Aux latitudes des zones tempérées, les valeurs lues sur la Fig. 4 doivent être utilisées avec prudence pour les trajets de longueur inférieure à 500 km.

3.3 Composante horizontale longitudinale

La valeur maximale du champ électrique horizontal longitudinal, E_{HL} , dans la position occupée par l'aéronef, est donnée par:

$$E_{HL} = E_D - L_{pv} + 51 - 20 \log p \quad (17)$$

E_{HL} peut être négligé pour les trajets de longueur supérieure à 1000 km.

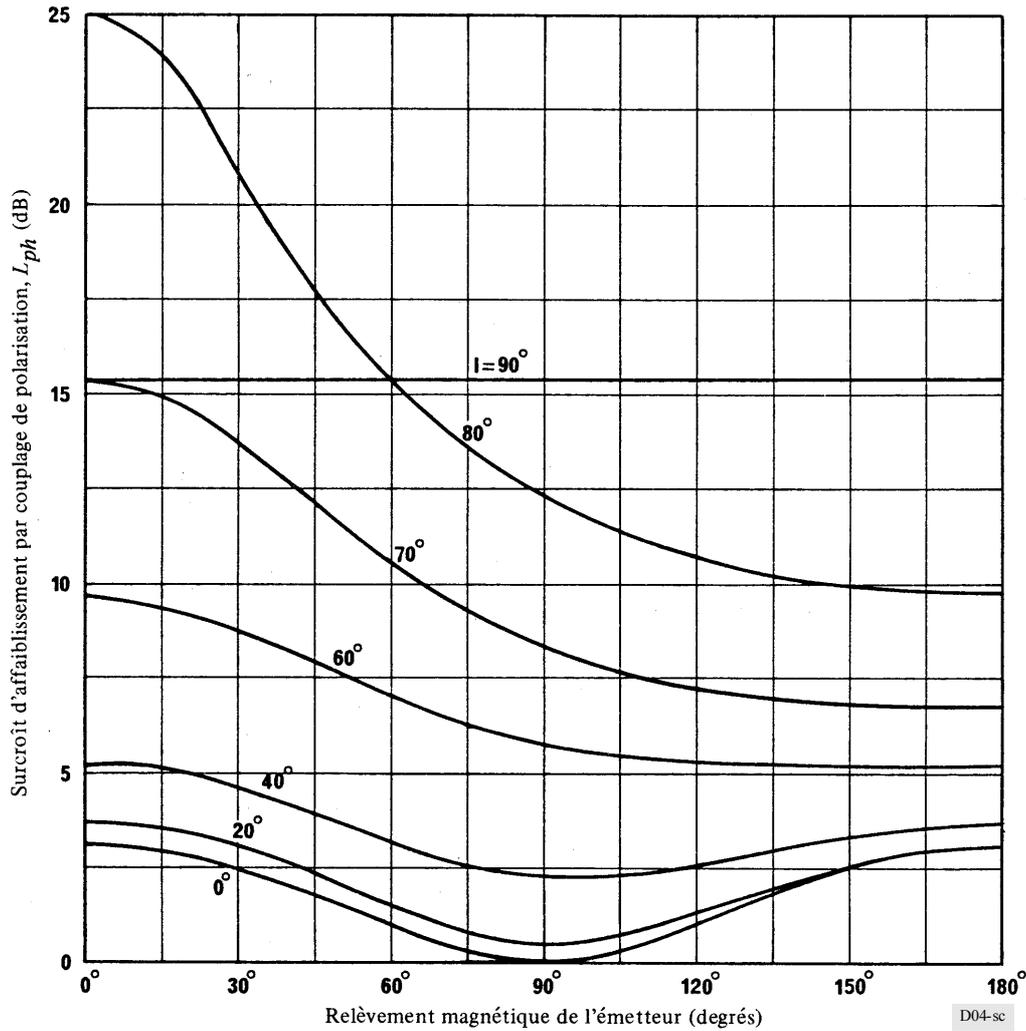


FIGURE 4 – Surcroît d'affaiblissement par couplage de polarisation, L_{ph} , pour une polarisation horizontale

I : angle d'inclinaison magnétique, nord ou sud (degrés)

Note. – Si l'aéronef se trouve au nord de l'équateur d'inclinaison magnétique, le relèvement magnétique de l'émetteur est mesuré à partir du nord magnétique. Dans le cas contraire, le relèvement est mesuré à partir du sud magnétique.

4. Variations du champ

Le champ dépassé pendant 10% du temps total d'une série de nuits au cours d'une saison déterminée pendant de courtes périodes centrées sur une heure donnée est supérieur de 8 dB à la valeur de E_D mentionnée au § 2. On peut observer des valeurs plus grandes pendant la période du maximum d'activité solaire.

La nuit, les ondes qui se propagent par l'ionosphère à 500 kHz 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. La variation saisonnière est beaucoup plus faible aux latitudes tropicales.

5. Valeur du champ pendant le jour

En Europe, la valeur médiane du champ pendant le jour en hiver est inférieure de 25 dB à la valeur nocturne de E_D donnée au § 2. Pendant le jour, en été, la valeur du champ est inférieure d'environ 60 dB à la valeur de E_D .

Au printemps et en automne en Europe, les valeurs diurnes de champ se situent entre les valeurs de l'été et celles de l'hiver.