

UNIVERSITE D'ALGER

2/68

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

2ea

2^{eme} explique

(manque de planche)

PROJET DE FIN D'ETUDES

GENIE ELECTRIQUE
المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

*DIMENSIONNEMENT D'UNE
LIAISON RADIO DANS LA
BANDE DECAMETRIQUE
entre
ALGER et COLOMBECHAR*

PROMOTION
1968

T. AYOUZ

UNIVERSITE d'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Reçu, le 17/6/68
Slosiar

Section Télécommunications

Sujet proposé par Monsieur AMEUR MOUSSA

Dimensionnement d'une liaison radio en ondes décimétriques (B.L.U.)
permanente (à 90% du temps)

Membres du jury

Président : Monsieur SLOSIAR, Professeur Expert Unesco, Chef du département Télécommunications

Assesseurs : Monsieur AMEUR MOUSSA, Ingénieur, Chef du Bureau d'Etudes
au B.E.R.I.

Monsieur FOUJOLS Georges, Ingénieur, Assistant à l'Ecole
Nationale Polytechnique.

AVANT PROPOS

Je voudrais exprimer ma gratitude à tous les professeurs qui ont contribué à ma formation.

Remercier Monsieur KALLACHE, Ingénieur, Chef du Centre d'études et de Télécommunications pour l'aide précieuse qu'il m'a apporté afin de mener à bien cette étude et à Monsieur AMEUR MOUSSA Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique d'avoir bien voulu superviser mon travail.

Tahar AYOUB



SOMMAIRE

Le présent projet a pour but de dimensionner une liaison radioélectrique permanente (à 90% du temps) dans la bande des ondes décamétriques; essentiellement en Radiotéléphonie (B.L.U) entre Alger et Colombéchar. La distance entre les deux extrémités étant de 740 km.

TABLE DES MATIERES

- I . Introduction générale
 - I.1 caractéristiques de l'ionosphère 2 à 4
 - I.2 calcul du coefficient d'affaiblissement au cours d'un trajet radioélectrique. 4
 - I.3 Détermination de la M.U.F et la L.U.F. 10 à 11
 - I.4 Détermination de la zone de silence 11
 - I.5 Détermination de la puissance 11 à 15
 - I.6 Etude du champ, et méthode pratique de dimensionnement de liaison. 15 à 24

- II. Etude de la liaison entre Alger et Colombéchar
 - II.1 Données de base 24 à 25
 - II.2 Détermination de la puissance 25
 - II.3 Détermination des fréquences de travail. 26
 - II.4 Choix de l'antenne.

- III. Méthode pratique d'un calcul d'antenne pour ondes décadiques A effet directif.
 - III.1 données géographiques 31
 - III.2 détermination des angles de tir 31
 - III.3 choix de la bande de fréquence 32
 - III.4 dimensionnement de l'antenne 33

- IV. Conclusion 34

1 INTRODUCTION GENERALE :

Dans la bande décamétrique l'onde de "surface" est très vite absorbée et ne peut être utilisée qu'à de faibles distances... Notre projet concerne une liaison de moyenne distance c'est plutôt le rayon indirect qui nous intéresse.

Nous allons utiliser la propriété qu'à l'ionosphère de réfléchir les ondes radioélectriques vers la terre.

On sait que l'ionosphère a donné lieu à des études et des sondages quotidiens.

Nous avons recherché à définir le comportement de l'ionosphère sur le trajet Alger-Colombéchar.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Une émission en sondage vertical permet de constater que des fréquences plus élevées qu'un certain seuil ne sont pas réfléchies.

Et on peut imaginer l'ionosphère comme étant formée de couches stratifiées de densité électronique variables.

I.1 Caractéristiques de l'ionosphère

-2-

A partir du sol on rencontre les couches suivantes :
La couche D : entre 70 et 90 km de densité électronique faible 10^9 el/m³ le nombre de chocs entre l'élection moyen et les autres particules y est élevé 10^6 à $10^8/3$.

Dans la couche E : entre 90 et 150 km

La couche E normale, seulement diurne, de densité électronique maximum de l'ordre de 10^{11} électrons/m³.

La couche E sporadique, due à des phénomènes divers créant parfois à l'altitude de la couche E normale des ilots dont la densité peut atteindre 10^{12} électrons/m³ dans les régions polaires, on constate fréquemment l'existence d'une couche E dite aurotale, de caractère très flu tuant due probablement à un bombardement, d'origine solaire, de particules provenant de l'exosphère.

Dans la région F : au-dessus de 150 km.

Lorsque la distance Zénithale solaire est faible, deux couches séparées F_1 et F_2 . Ces couches s'assemblent la nuit pour former la couche F :

pour la propagation des ondes courtes, la couche F ou F_2 est la plus importante parcequ'elle est permanente, la plus ionisée et la plus élevée.

La densité max est de 10^{11} a 10^{12} électrons/m³
l'altitude de reflexion est de l'ordre de 20 à 300km.

.../...

La manifestation pratique de la densité ionique max d'une couche est la "fréquence critique" de la couche; c'est la plus haute fréquence réfléchiée par la couche dans un sondage Zenithal.

1 a
$$f_c = \sqrt{\frac{Nq^2}{4\pi^2 m \epsilon}}$$

ϵ = constante diélectrique du milieu
 q = charge de l'électron
 m = masse de l'électron
 N = nombre d'électron.

La condition de retour au sol s'écrit :
(sondage vertical)

1 a (bis)
$$f \leq f_c = \sqrt{\frac{Nq^2}{4\pi^2 m \epsilon}}$$

l'ionisation nécessaire à un retour au sol.

2 a
$$N = \frac{f_c^2}{92} \frac{4\pi^2 m \epsilon}{q^2}$$

ou
$$N = \frac{F^2}{81}$$

relation utilisée à la détermination des hauteurs et ionisation des couches superposées.

3 a
$$H = \frac{\theta}{c}$$

θ : temps de trajet aller et
 c : vitesse de la lumière

Parmi les couches que nous avons énumérées, seule les couches des régions E et F ont une ionisation suffisante pour réfléchir des ondes décamétriques. La couche D se manifeste surtout en affaiblissant les signaux qui la traversent. Cet affaiblissement augmente très nettement si la fréquence diminue.

En effet il doit se trouver là une région à moindre ionisation mais à plus grande densité, donc avec plus de molécules ($v=10^6$) et de chocs.

I.2 Calcul du coefficient d'affaiblissement.

La présence de chocs entraîne une conductibilité

$$\sigma' = \frac{Nq^2}{m} \frac{\nu}{\nu^2 + \omega^2} \quad 4 a$$

et celle-ci à son tour entraîne une absorption exponentielle.

$$5 a \quad e^{-\alpha d} \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{\sigma'}{2} \sqrt{\frac{\nu}{\epsilon}}$$

ν = perméabilité diminuée

ν = nombre de choc.

Pour les ondes courtes ν^2 étant encore inférieure à ω^2 l'exposant α se trouve sensiblement proportionnel à λ^2 l'absorption croit donc très notablement avec la longueur d'onde. La présence de la densité d'ionisation N dans la formule qui donne σ' montre que l'absorption dépend de l'éclairement solaire et doit être beaucoup plus importante le jour que de nuit.

De ce qu'à été dit on en déduit une limite inférieure de la gamme de fréquences réfléchies par les couches supérieures de l'ionosphère.

- En incidence oblique, il existe aussi une gamme de transmission quasi-continue, transposée vers les fréquences plus élevées. La limite supérieure est appelée MUF (maximum usable frequency) et la limite inférieure s'appelle LUF (Lowest usable frequency)

Si f_c est la fréquence critique à incidence normale la limite de réflexion totale pour un angle d'incidence i (ou son complément) est

6 a.
$$f' = \frac{f_c}{\sin \varphi} = \frac{f_c}{\cos i} = f_c \sec i$$

appelé "loi de la sécante".

En général, la MUF et la LUF augmentent avec la distance en effet i croît avec d , la relation est facile à trouver.

- Soit : E : l'émetteur
R : récepteur
I : moment de réflexion sur l'ionosphère
O : centre de la terre
 2χ : l'angle géocentrique EOR
 $\theta = \angle IEH$ l'angle de "départ" du rayon réfléchi.

au-dessus de l'horizon dans le triangle E I O

$$\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) + i + \gamma = \pi$$

d'où

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \theta - i$$

d'autre part, P étant le rayon terrestre

$$d = p \cdot 2\theta$$

donc

$$2b \quad \boxed{d = p(\pi - 2i - 2\theta)}$$

encore dans E I O on peut déterminer les relations

$$\frac{\sin i}{p} = \frac{\sin(\theta + \gamma)}{p+h} = \frac{\cos \theta}{p+h}$$

h : hauteur de la couche

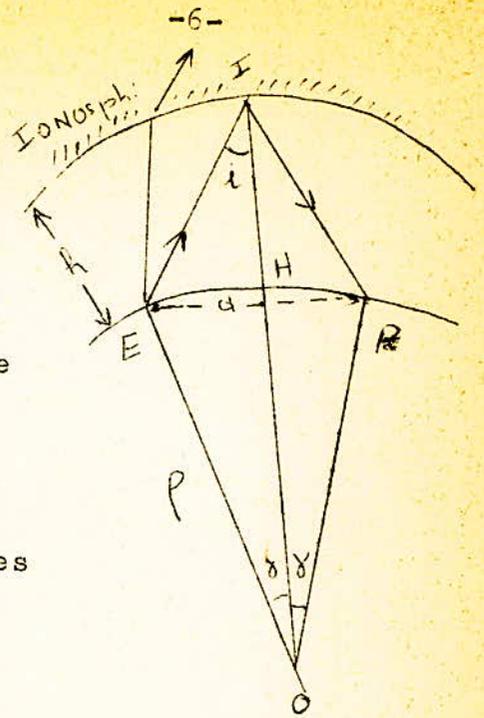
$$\text{ou en tire } \cos i = \frac{\sqrt{1 - p^2 \cos^2 \theta}}{(p+h)^2} = \frac{\sqrt{p^2 \sin^2 \theta + 2ph + h^2}}{p^2 + 2ph + h^2}$$

comme $h \ll p$ on peut négliger les termes en h^2

$$3b \quad \boxed{\cos i = \sqrt{\frac{p^2 \sin^2 \theta + 2h}{p + 2h}}}$$

on voit donc que si on se donne θ on tire i d'après (3).
 - d-d'après (2) d'autre part $\frac{f'}{f}$ d'après 1a b

f



.../...

Ceci permet de comprendre que si l'on émet avec une fréquence $f > f_c$, le résultat différera suivant l'angle de départ et l'angle d'incidence sur la couche.

En effet calculons, au moyen des formules (1)_b (2)_b (3)_b l'angle de départ θ_0 , correspondant au rapport de fréquence f à la fréquence critique f_c et la distance

Tout rayonnement partant avec un angle θ supérieur pénétrera dans la couche et ne redescendra pas.

Seuls seront réfléchis les rayons partant avec un angle inférieur $\theta < \theta_0$; ceux-ci redescendront à des distances d supérieures à la distance d_0 correspondant à θ_0 .

La distance d_0 (skip-distance) distance de saut est donc la limite inférieure de portée du rayon indirect.

En deça jusqu'aux faibles distances où le rayon direct redevient appréciable, il n'y a donc plus rien du tout cette zone de silence d'après les formules géométriques 2)_b et 3)_b la portée augmente quand l'angle de départ θ diminue.

Les très grandes portées devraient donc être obtenues pour $\theta = 0$ ce qui donne

$$f'_{\max} = f_c \sqrt{\frac{p + 2h}{h}}$$

$$d_{\max} = 2p \left[\frac{\pi}{2} - \arccos \sqrt{\frac{2h}{p + 2h}} \right] \approx 8\sqrt{ph}$$

.../...

Quant aux très grandes portées elles s'interprètent en admettant que l'onde effectue plusieurs bonds consécutifs.

Ce calcul est approximatif : il ne tient pas compte.

- ni de l'intersection des rayons incidents et réfléchis en un pt plus élevé que la couche.

- ni du ralentissement par diminution de vitesse de groupe dans le trajet ABM'CD

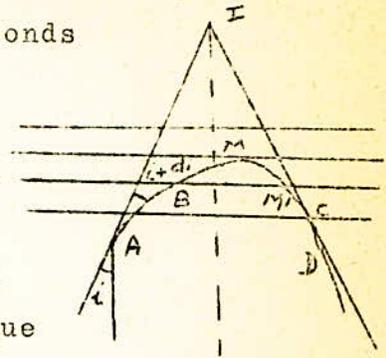
- ni de la courbure de la surface de la couche

- ni du champ magnétique terrestre

- ni enfin des observations expérimentales, susceptibles de fournir directement la relation entre f'_d et f_c .

Ce calcul ne tient pas compte de l'absorption dans les couches inférieures à celle de réflexion; cette absorption peut être notable et d'autant plus que le trajet dans la couche est plus long - c-à-d plus oblique.

C'est pour pallier à ces imprécisions et mieux comprendre ce qui se passe que l'on effectue parfois des sondages "obliques" entre un émetteur et récepteur éloigné; cette méthode revient à étudier une liaison réelle, dans ses conditions normales, mais avec des caractéristiques (impulsions brèves...) des instruments d'analyse oscilloscopes, aériens dirigés orientales permettant de mieux situer le point de réflexion et d'évaluer l'affaiblissement en cours du trajet.



.../...

On peut vérifier aussi les valeurs possibles pour la fréquence utilisable l'étendue de la zone de silence les meilleurs angles "d'arrivée" et de "départ" dans le plan vertical.

Parfois on voit arriver des rayonnements en provenance de distances ou de directions complètement imprévues par exemple de 1000 à 2000 km de l'émetteur réel ou en dehors du plan du grand cercle E.R. en direction opposée ceci s'explique en invoquant.

- l'affaiblissement sur certains trajets possibles les plus courts pouvant être affaibli et les signaux du trajet longs seuls perceptibles.

- La diffusion

En pratique les formes suivantes sont utilisées pour des distances $d < 100 \sqrt{H}$ Km

cos $\theta_0 \approx \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{r}{2H})^2}}$ cas d'un

$$\frac{f}{f_v} = \frac{1}{\cos \theta_0} = \sqrt{1 + \frac{d^2}{2H}}$$
 6b

ou
$$\frac{f}{f_v} = \frac{r}{2H}$$
 f émission
f_v émission verticale

6b (bis)

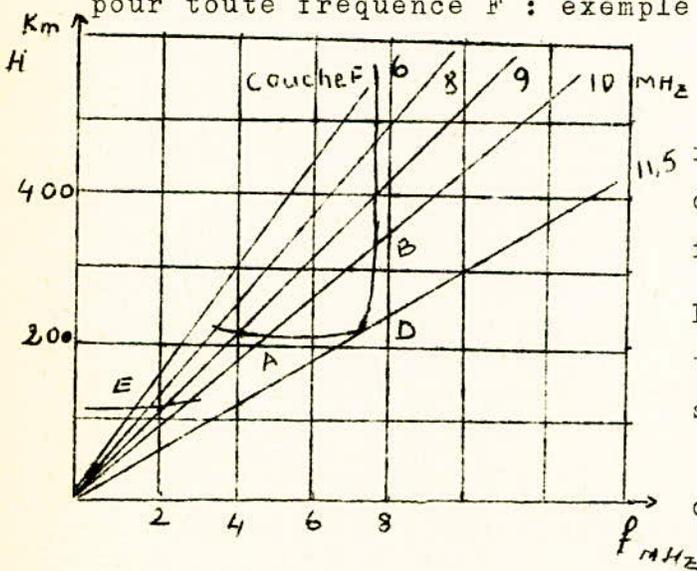
...../.....

I.3 Détermination de la L.U.F et M.U.F.

- Le problème se pose comme suit :
- On donne $d = E R$.

Le relevé au point H des caractéristiques de l'ionosphère $H = F(f_v)$ de la hauteur de réflexion en fonction de la fréquence d'émission verticale f_v et on se propose de déterminer la M.U.F, i_o , l'angle de tir Θ_o de l'antenne et la puissance antenne, pour un gain normal g_p de l'antenne suivant Θ_o , en vue d'obtenir en R un champ incident convenable.

- On peut tracer pour une distance d un réseau de courbes donnant, pour diverses fréquences d'émission f les variations de H en fonction de f_v (courbures de transmission) au détermine comme suit les conditions de l'émission pour toute fréquence F : exemple $f=10Mc$ coupe la couche de



sondage vertical en 2 points A et B correspondant à des réfractons sur la couche F à des hauteurs de 220 et 250 Km f_v 5 M.Hz et 7 M.Hz

La M.U.F. correspond à 11,5MHz tangeante en D à la couche de sondage vertical

se détermine facilement $d = 1000$ Km $f_v = f \cos i_o$.

.../...

Si l'antenne est losange à l'émission elle doit donner un gain max suivant Θ .

On appellera F.O.T. fréquence optimum de travail 10 MHz. lorsque f_v augmente, la courbe de sondage vertical montre que H d'abord constant, croit en se rapprochant de la fréquence critique de la couche; légèrement en dessous de f_c ; f est proportionnel^{1,2} et la M.U.F. est légèrement inférieure à la valeur f donnée par (6) ou H est la hauteur de la courbe utilisées et $f_v = f_c$ on peut tracer M.U.F. connaissant les variations de H et de f_v .

I. 4°) Détermination de la zone de silence.

Pour une fréquence f elle s'établit à partir de la courbe en sondage vertical en H : on trace à partir de (6) des courbes de f_v en fonction de H pour une fréquence f et des valeurs successives de d la courbe de sondage en deux point donnant les rayons qui aboutissent en R; les hauteurs correspondantes H donnent les inclinaisons i_0 des rayons. La distance limite de la zone de silence correspond à la courbe tangente à la courbe de sondage.

I. 5°) Détermination de la puissance

Connaissant F.O.T. et Θ_0 on utilise une antenne donnant la directivité adéquate, il s'agit de déterminer la puissance à mettre en oeuvre pour obtenir R en signal convenable.

.../...

Le signal en R en l'absence d'absorption est donné par la formule

$$E = E_0 \text{ gd } \sqrt{P} \quad 7b.$$

E_0 : champ d'un dipôle suivant la normale pour 1km rayonné à la distance d

g d et P = gain de l'antenne au départ et puissance totale rayonnée.

L'expérience a montré que l'atténuation α en db pour un parcours unité dans la couche D est proportionnelle au produit de la densité électronique par la pression de l'air et inversement proportionnelle au carré de la fréquence, la densité électronique est d'autre part proportionnelle à celle de la couche E c.à.d. proportionnelle à la fréquence critique f_e de cette couche.

$$8b \quad \alpha = K \left(\frac{f_e}{f} \right) \quad \alpha \text{ en db}$$

k = constante proportionnelle à la fréquence de collision.

On peut apprécier l'absorption dans la couche D et la valeur de la fréquence minima utilisable (L.U.F.) au-dessous de laquelle l'absorption devient trop forte.

Les valeurs de la L.U.F. peuvent naturellement être reportées sur des graphiques comme celle de la M.U.F. mais elles sont beaucoup moins générales, puisqu'elles font intervenir la puissance de l'émetteur la sensibilité du récepteur, le gain de l'antenne et aussi le niveau de bruit.

.../....

C'est donc pour un type de matériel et de trafic déterminé qu'on aura intérêt de les préparer d'avance.

-4 Si on appelle l'affaiblissement de transmission fondamental d^0 caractéristique de la propagation le rapport $W1_0 / W2_0$ entre la puissance $W1_0$ rayonnée par une source isotropique placée au lieu d'émission, et la puissance $W2_0$ au lieu de réception recueillie par un collecteur isotropique placé au lieu de réception, il faut que $W2^0$ soit supérieure à une certaine limite.

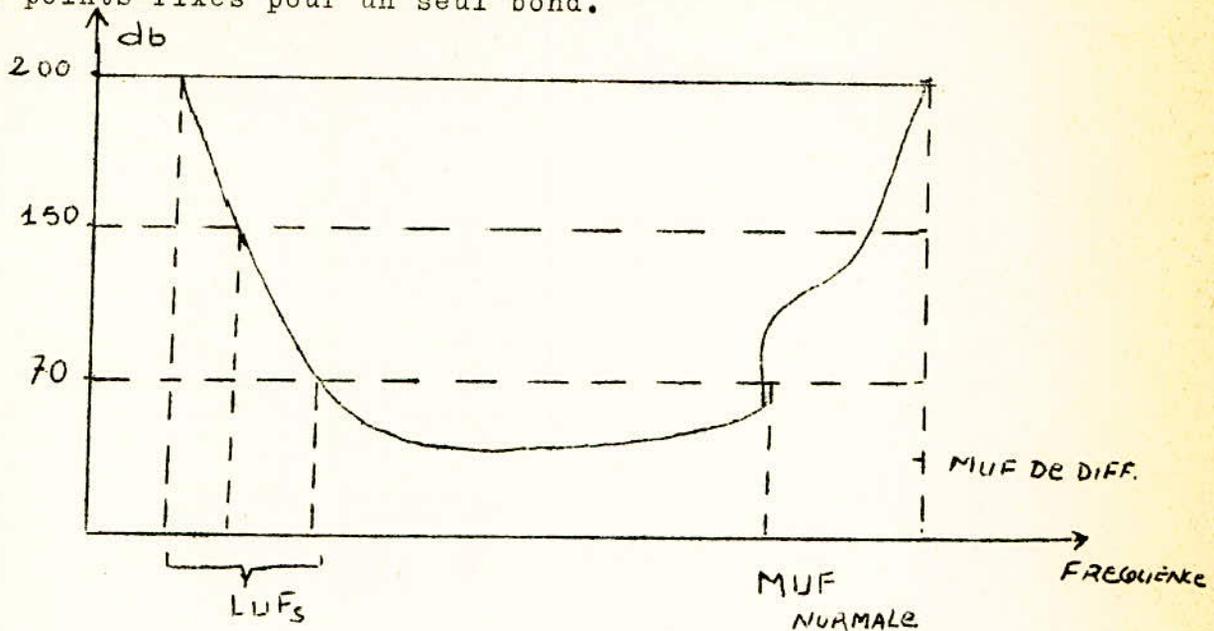
Il en résulte, étant donnés les conditions à l'émission maximum admissible de l'affaiblissement de propagation qui ne peut être dépassé sans que la liaison soit interrompue.

Les limites de fréquence de la gamme de transmission offerte pour la liaison par les différents modes naturels de propagation ionosphériques dépendent de la valeur maximum d'affaiblissement admissible, d^0 maximum.

On obtient des limites, en général très différentes, pour les valeurs extrêmes de 70 db et 200 db présentés par les équipements limites minimales et maximales que l'on peut actuellement rencontrer.

.../...

La figure 1 indique en fonction de la fréquence, l'allure de la variation de d° de propagation entre 2 points fixes pour un seul bond.



On appelle généralement "M.U.F. classique" la limite supérieure de fréquence du mode de propagation pour réflexion qui offre l'affaiblissement minimum (pour un seul bond).

Les fréquences très en-dessous de la M.U.F. classique sont fortement affaiblies par l'absorption dans les basses couches tandis que ces fréquences légèrement inférieures à la M.U.F sont affaiblies par une absorption sélective dans la couche réfléchissante elle-même.

Les fréquences supérieures à la M.U.F. classique ne sont transmises que par réflexion partielle ou diffusion, sur une couche en général basse avec un affaiblissement important.

.../...

I.6 Etude du champ électrique et méthode pratique de dimensionnement de la liaison.

La puissance W° appliquée à l'antenne d'émission étant constante et la fréquence fixe, on constate que $W^{\circ 2}$ fluctue. L'enregistrement du champ reçu en onde ionosphérique fait apparaître ces fluctuations dont l'amplitude et la cadence sont très variables suivant la durée pendant laquelle on intègre le signal.

Il apparaît que le niveau du signal, à un instant donné, résulte de la combinaison de différents effets physiques régis par des lois statistiques distinctes. On peut retenir les résultats suivants, donnés à titre d'indication.

Les observations effectuées sur une courte période, par exemple toutes les secondes, pendant une minute, sont distribuées suivant une loi de Rayleigh.

La probabilité pour que E soit supérieur à E_0 est

$$P(E_0) = e^{-0,693 (E/E_m)^2}.$$

En valeur médiane du champ au cours de la minute considérée, c'est le seul paramètre de distribution.

Si pour représenter le champ pendant la minute, on retient la valeur médiane E_m et si l'on considère les 60 valeurs consécutives d'une heure, on constate une distribution du type logarithmique normal (les logarithmes de mesures du champ sont distribués suivant la loi de Gauss).

L'écart type de la distribution est de 6db environ. On en déduit que :

Le champ E dépasse 10% des minutes de l'heure et le champ médian dans l'heure -10 db.

Le champ E dépassé 30% des minutes de l'heure et le champ médian a 4 db.

Dans l'établissement des prévisions établies par les différentes stations de sondage il n'est pas tenu compte de ces phénomènes il conviendra d'en tenir compte si l'on le juge nécessaire dans l'estimation de d° maximum.

Les prévisions ne s'intéressent qu'à l'affaiblissement de propagation médian au cours de l'heure, et à sa fluctuation d'un jour à l'autre au cours de la période de temps pour laquelle la prévision est établie.

La fluctuation du rayonnement ionisant, combinée à l'effet géométrique de la rotation diurne, provoque la variation d'un jour à l'autre des caractéristiques physiques de la haute atmosphère, qui conditionnent la propagation. Rappelons aussi que f_c la fréquence critique d'une couche est une fonction linéaire de Wolf (ou indice d'activité solaire) $R=K(10g+F)$

K = coefficient qui dépend de la puissance du telescope utilisé pour l'observation, réévalué par rapport à celui de l'observation de Zurich pour lequel $K=1$

g = nombre de groupe de taches

f = nombre de taches observées individuellement

La valeur de R varie de jour en jour aussi doit-on se servir d'une moyenne pour indiquer l'activité solaire lors d'un mois d'une année donnée.

On voit aisément que pour résoudre le problème posé seule la statistique présente une signification.

La période de temps retenu pour l'établissement de ces statistiques est le mois du calendrier.

Les propagations sont calculées par une, ou mieux, plusieurs probabilités commodes, qui rendent compte de la dispersion des valeurs.

Les probabilités les plus utilisées par D.P.I. (Français) sont 30% et 90%.

De cette introduction : Nous pouvons dire que le problème essentiel est d'estimer d^0 . Affaiblissement général de transmission lequel lui-même dépend des bruits naturels et industriels qui lui imposent une limite supérieure au cours d'une propagation.

a) La limite supérieure de la bande de fréquences utilisable (maximum usable frequency) M.U.F.

- dépend de la distance et des caractéristiques ionosphériques aux points où s'effectuent les réflexions (f_c et hauteur)

- varie généralement peu avec les caractéristiques des appareils d'émission et de réception.

b) La limite inférieure de la bande des fréquences L.U.F. dépend également de la distance mais aussi :

- du champ rayonné sous l'angle de départ optimum c'est-à-dire correspondant au chemin de propagation le plus favorable de l'absorption par le milieu transmissif.

.../...

- Parfois de l'occultation d'une couche par une autre.

- du champ nécessaire à la réception.

Il existe des centres de prévisions ionosphériques qui rendent compte des variations de L.U.F. et de la M.U.F. ce sont des prévisions établies à long terme pour la propagation ionosphérique des ondes radio-électriques.

Pour notre projet nous utilisons les précisions ionosphériques nationales français (D.P.I.) du centre d'études et de télécommunications. Sa méthode de travail peut être exposé brièvement :

il définit un pouvoir transmissif : rapport exprimé en db entre le champ à 1 Km de l'émetteur dans la direction favorable à la liaison, en Azimut et en Site, et le champ moyen nécessaire à une bonne réception, à l'autre extrémité de la liaison.

$$P_T = 20 \log_{10} \frac{E_I (1\text{Km})}{E_2 \text{ (désiré à la recep.)}}$$

10b.

Pour une bonne liaison il faut que $P_T > d^0$

P_T (Kw, km, v) E en valeur efficaces.

E1 s'exprime par la formule

$$E1 = 222 \sqrt{W \cdot g.} \text{ (mv/m eff.)}$$

11b

g^1 = gain de l'antenne par rapport à une antenne

1 onde.

2

.../...

Il définit le pouvoir émissif niveau de EI en mv/m comme étant la somme de niveau de puissance $k_p = 47 + 10 \lg W, (KW)$ et du gain d'antenne dans la direction \vec{U} du parcours le plus favorable et à distance suffisante.

Le centre définit également : Puissance effectivement rayonnée dans la direction \vec{U} pour une antenne d'émission :

La puissance qu'il faut appliquer au doublet et élémentaire parfait, placé au point d'émission, pour créer à 1 Km dans la direction \vec{U} le même champ que l'antenne considérée . On trouve que 1 Km correspond à 300 mv/m.

On pourra passer de P_r à la valeur EI par la formule

$$E_i = 212 \sqrt{\frac{W_s (km)}{P_r}} \text{ (mv/m)}.$$

On lira le gain sur une échelle de Ib planche I.

On définit également le pouvoir réceptif : niveau efficace du champ E_{min} en mv/m pratiquement $20 \log E_2$. donné par l'échelle Ie (planche I figure 1 (annexe) en fonction du champ E_{min} nécessaire à la réception.

La D.P.I. retient dans les conditions d'une liaison la valeur du pouvoir transmissif définit comme suit

$$P_T = \underline{\text{NIVEAU DE PUISSANCE} + \text{GAIN D'ONNE} + \text{POUVOIR RECEPTIF}}.$$

$$P_T = \text{Pouvoir émissif} + \text{pouvoir réceptif}$$

$\underline{\text{POUVOIR EMISSIF}} = N_p + \text{gain d'antenne}$

Il existe un bulletin mensuel de la D.P.I. qui indique les graphiques de propagation. (fréquence en fonction de l'heure) dans différentes zones géographiques délimités... Toutes ces prévisions sont calculées pour une ou, plusieurs valeurs du pouvoir transmissif P_T .

Les valeurs du pouvoir transmissif retenues par la D.P.I. sont 107 db - 97 db - 87 db - 77 db.

dits : cas 107 ou cas Z
 97 ou cas A
 87 ou cas B
 77 ou cas c.

Ces cas correspondent aux conditions de références suivantes :

W (watt)

Cas (db)	:	107	:	97	:	87	:	77
	:		:		:		:	
Puissance appliquée	:		:		:		:	
à l'antenne $\frac{1}{2}$ onde	:	1000	:	100	:	10	:	1
de référence.	:	W	:	W	:	W	:	W
	:		:		:		:	
Champ nécessaire à la réception : valeur efficace 1 rv/m								
Type de service : télégraphie manuelle A ₁ .								

.../...

Ceci pour un service a télégraphique manuelle A1.
On doit apporter les corrections suivantes pour un autre type de trafic.

	! A peine!	! Moyen	! TRES BON
Télégraphie manuelle	+4	0	-8
Télégraphie A. Aut (50 bands)	-5	-9	-17
Téléimprimeur F _I	-3	-7	-15
Téléphonie A ₃	-	-	-
double bande latérale	-10	-15	-25
double bande latérale unique	-7	-12	-25
Radiodiffusion	-12	-25	-50
Radiogoniomètre	-12	-25	-42

Les graphiques sont établis pour des distances comprises entre 0 et 250 km de 250 km jusqu'à 1500Km de 500 en 500 km de 1500 à 300km pour 3 valeurs du pouvoir transmissif correspondant aux trois cas A, B et C. Pour certaines zones, ils sont également établies en cas Z

Si le "pouvoir transmissif est nettement différent des valeurs prévues, l'utilisateur des prévisions devra procéder à un interpolation.

.../...

Etant données les variations des couches ionosphériques la M.U.F. et la L.U.F. changent du jour à l'autre. Les pressions de la D.P.I. tiennent compte de cette irrégularité. Elles indiquent, non pas la médiane mensuelle de ces limites (prob 50%) comme cela est pratiqué généralement, mais les valeurs des limites qui conviennent 90% et 50% du temps.

Ce sont les M.U.F. 30% et M.U.F. 90% pour les limites supérieures et les L.U.F. à 90% et L.U.F. 30% pour les limites inférieures .

Ces prévisions sont valables pour tous les jours du mois en l'absence de perturbations ionosphériques.

La L.U.F. pour une heure donnée est immédiatement connue de l'utilisateur dans la plupart des cas. La L.U.F., par contre, ne peut être connue qu'après déterminations du pouvoir "transmissif"

Pour résoudre les différents problèmes qui se posent à l'utilisateur, il est nécessaire de procéder par tâtonnements et de vérifier successivement dans lequel des quatre cas Z, A, B, C ou dans dans quel cas intermédiaire il conviendrait de placer sa liaison.

.../...

Pour les distances inférieures à 500km, il suffit de considérer une seule valeur de l'angle de départ de jour et de nuit donnée par le tableau suivant :

	valeurs moyennes proposées par le calcul									
distance	25	50	100	150	200	250	300	350	450	500
jour	83°	75	63	53	45	38	35	30,5	47	45
nuit	87°	84	78	72	67	63	59	55	47	40

Lorsque le pouvoir "transmissif" varie seule la L.U.F. varie de façon sensible. O. déterminera donc le pouvoir transmissif que pour l'angle indiqué sur la L.U.F.

.../...

II . ETUDE DE LA LIAISON (ALGER-COLOMBECHAR)

II.1 Pour une distance de 740 km on se rattachera aux graphiques des distances 750 km édités mensuellement par la Division des prévisions ionosphériques (D.P.I. figure 2 annexe) :

On considérera les cas suivants :

cas Z 107 db

cas A 97 db

cas B 87 db

On cherchera à se rapprocher pour 740 Km, du cas B afin de ne pas être obligé d'utiliser un matériel puissant donc onéreux, tout en essayant de rester dans les possibilités d'une liaison possible de jour comme de nuit, mais il est vain comme il a été dit en introduction de rechercher une probabilité de trafic à 100%. D'ailleurs les graphiques sont donnés pour des probabilités de 30% et 90% de temps.

II.2 Données de base

- On veut un trafic en B.L.U.
- Distance 740 km
- horaire de jour

.../...

- Zone : Afrique du Nord
- champ minimal à la réception on veut $4 \mu\text{v/m}$
- liaison voulue en mai 1968
- Aérien d'émission et de réception doublets.

II.1.3 Détermination de la puissance

- On recherche un pouvoir transmissif de 87 db
- gain de l'aérien : 2 db (angle de départ 50°)
doublet à 9m15
 - correction -12 db en B.L.U
 - pouvoir réceptif $4 \mu\text{v/m} \approx 48 \text{ db}$

$$K_p + 48 - 12 + 12 = 85 \text{ db (graphique donné pour 85 db)}$$

tirons N_p (niveau de puissance désirée)

$$K_p = 87 - 38 = 47 \text{ db} :$$

soit P puissance que doit délivrer l'émetteur à l'antenne.

$$47 \text{ db de } K_p = 1 \text{ Kw}$$

Pour écouler confortablement le trafic, il est donc souhaitable d'envisager l'emploi d'un émetteur de 1 Kw

II 1.4. Détermination des fréquences de travail

comme indiqué ci-dessus, on considérera le cas B des prévisions mensuelles de la D.P.I

La L.U.F. à midi (à 90%) est de l'ordre de 6,7 MHz

On pourra choisir pour le trafic à deux vacations d'une heure par exemple de 10 à 11h et de 13 à 14h de fréquences assez proches de la M.U.F. à 90%, soit par exemple 15 MHz car le pouvoir transmissif intervient beaucoup moins aux environs de la M.U.F. qu'à proximité de la L.U.F.

II.1.5 Choix de l'antenne :

Les données ci-dessous sont basées sur l'utilisation d'une antenne horizontale à demi-onde. Mais lorsque cela sera possible une antenne à l'usage peut être employée.

D'une antenne $\frac{1}{2}$ horizontale. Mais une antenne losange peut convenir.

On voit qu'un angle de 30° de départ pour L.U.F. de nuit permet l'utilisation d'une antenne losange. (car avec une antenne losange, il est pratiquement impossible d'obtenir des angles de départ supérieurs à 40° . En nuit pour une fréquence de 10 MHz une antenne losange du signal corps américain du type F présente un gain de 10 db à 30° à 15 MHz 8 db (voir diagramme d'antenne figure 3 et 4 en annexe)

en supposant que l'on dispose d'une fréquence dans la bande de 10 MHz pour un trafic de nuit et d'une autre dans la bande de 15 MHz pour le jour les gains respectifs seraient $+10$ à -8 db contre $+2$ et $2,5$ db à l'antenne $\frac{1}{2}$ onde horizontale.

De plus, ces considérations pourraient éventuellement conduire à l'utilisation d'un émetteur qui permet d'avoir un K_p de $85 = 48 - 12 + 10 \text{ dB} = K_p$

$$K_p = 39 \text{ db.}$$

un émetteur de 39 db de niveau de puissance soit 200 W

un émetteur de 200 W pourrait être utilisé au lieu d'un émetteur de 1 KW

Choix de l'antenne

Nous choisissons un émetteur de 1 KW. les nouvelles données de bande sont:

Puissance d'émission : 1 KW

Antenne $\frac{1}{2}$ à $9m15$ du sol

Champ minimum à la réception : on veut 4 $\mu\text{V/m}$

portée $d = 740$ km

Zone = Afrique du Nord

Mois : Mai 1968

Mode de trafic : B.L.U.

on choisira une antenne demi-onde p. q. elle permet de donner un rayonnement important de jour et de nuit.

On déterminera les fréquences de travail de la manière suivante :

on consulte les graphiques des cas Z,A,B.

on trouve :

à midi L.U.F. à 90% cas z 5 MHz 50° angle de départ
L.U.F. à 90% cas B 8 MHz 30°

de nuit L.U.F. 90% cas Z 2MHz 30° angle de départ
cas A 2 MHz 30°
cas B 3 MHz 30°

en B.L.U. on apportera la correction suivante (-12db)

	JOUR			NUIT		
	5MHz	6MHz	8MHz	2	2	3
Niveau de puissance	47 db	47	47	47	47	47
GAIN de l'AERIEN H 1/2 à 9m15	3 db	3	2,5	-3,5	-3,5	-0,5
pouvoir réceptif	48 db	48	48	48	48	48
correction pour la nature du trafic	-12 db	-12	-12	-12	-12	-12
Pouvoir transmissif	86 db	86	85,5	79,5	79,5	82,5

Les pouvoirs transmissifs sont assez voisins du cas B de jour comme de nuit ce qui est normal puisque notre but est de se placer dans le cas B.

Les fréquences seront donc choisies en se rapportant au cas B pour le moins considéré aussi lieu de jour que de nuit. Elle devront être comprises entre la M.U.F. à 90% et la L.U.F. à 90%.

Pour un trafic de 24h sur 24 on voit qu'il faut disposer d'au moins 3 fréquences.
une fréquence de nuit 23h à 24h aux ~~entourées~~ de 7mHz vers
vers le jour entre 3h et 4h vers 5mHz.
une fréquence de jour entre 7h et 23h 10 mHz.

Détermination des heures de trafic

Si le trafic permanent n'est pas envisagé on choisira si possible, des heures de trafic où la fréquence utilisée est voisine de la M.U.F. pour ne pas se préoccuper du pouvoir transmissif car la M.U.F. est indépendante de celui-ci.

Si les fréquences utilisées sont voisines de la L.U.F. on vérifiera que l'on est en cas Z, A, B, ou C en calculant le pouvoir transmissif pour les angles de départ correspondant aux L.U.F. des différents cas, en procédant d'une manière analogue à celle précédemment décrite et en reprenant les mêmes données.

Supposons que la fréquence imposée soit 10 MHz et déterminons les heures de trafic de travail possible.

Les angles de départ sont 50° le jour 30° la nuit dans les 4 cas.

K_p niveau de puissance.	! jour 50°	! nuit 30°
gain de hauteur	! 47db	! 47 db
pouvoir respectif	! 2 db	! 2
Correction	! 48 db	! 48 db
	! -12	! -12
	! 85	! 85

On peut considérer le cas B de jour et de nuit
de jour de 7H30 à 19H
de nuit : impossible.

III Calcul pratique d'antenne à ondes décamétriques

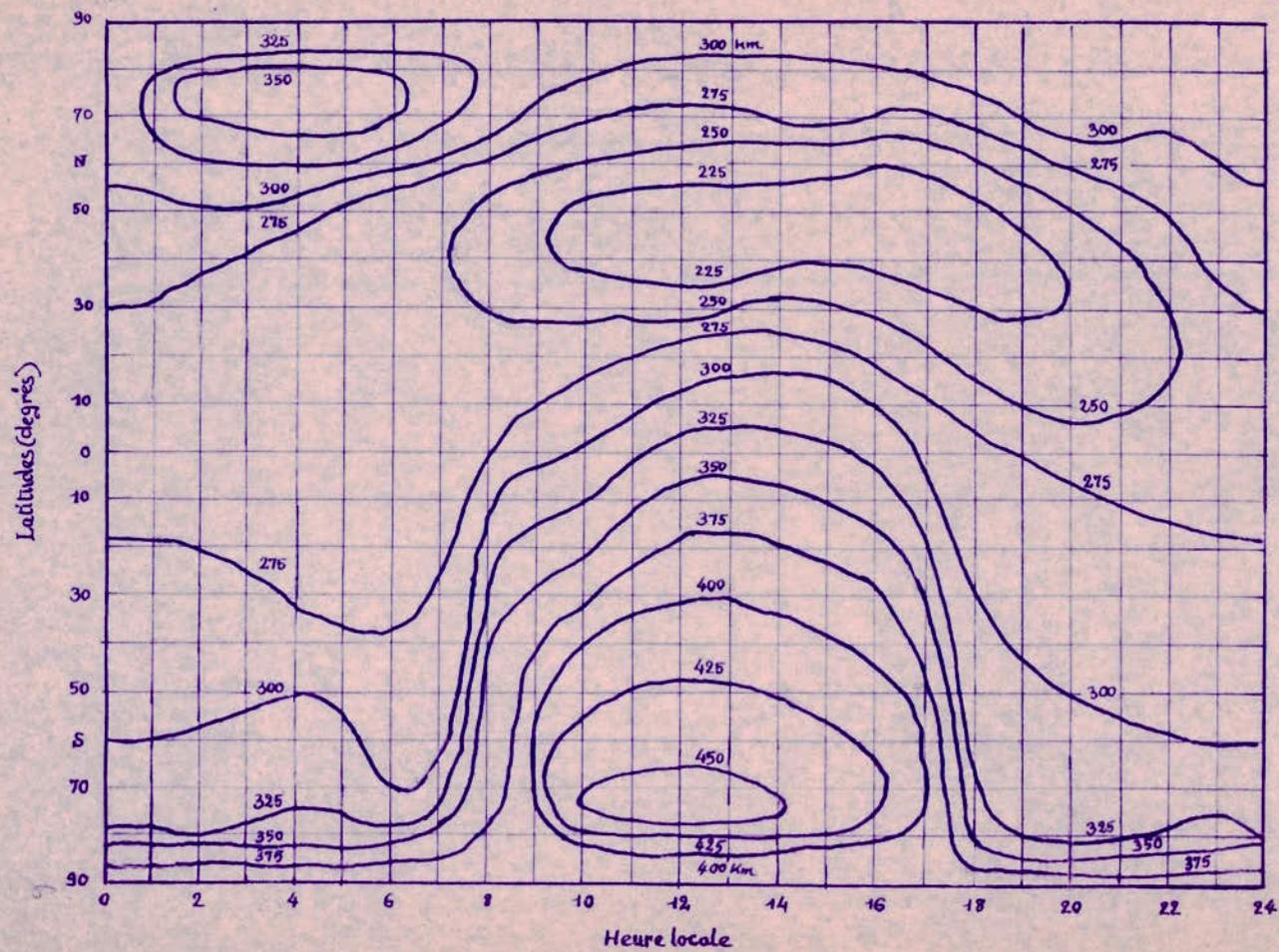
Les avantages à faire de l'émission et de la réception dirigées quand on travaille en onde décamétrique sont :

- augmentation du rendement en énergie
- on réduit beaucoup les brouillages et l'action des parasites au récepteur.
- on assurera, le secret des communications.

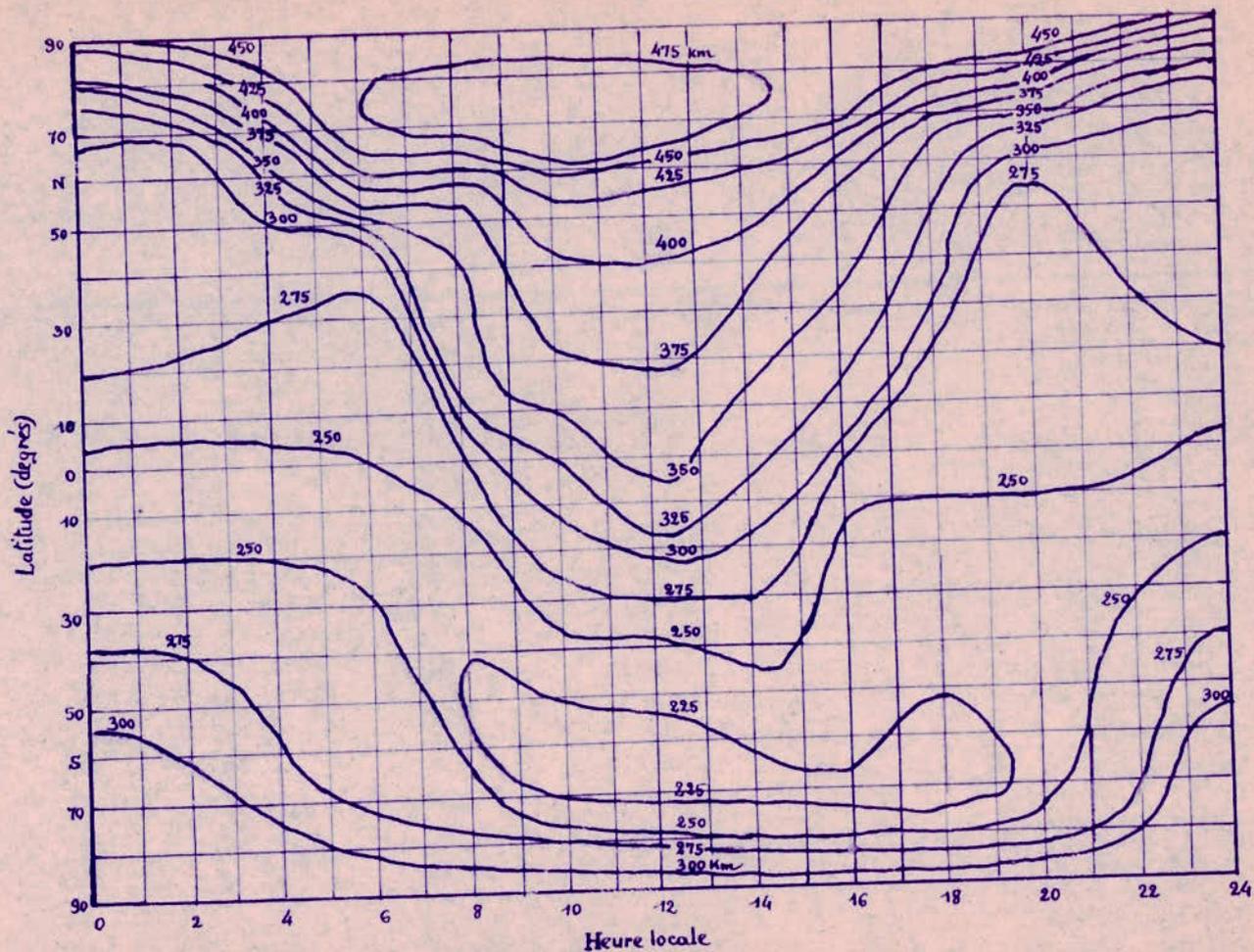
L'antenne losange assure largement ces trois qualités. Elle a en plus une impédance caractéristique uniforme dans une large bande de fréquence de l'ordre d'une octave.

Il serait utile d'indiquer une méthode pratique de calcul qui conduit à des valeurs approchées des valeurs optimales permettant d'améliorer au maximum les performances dans la direction désirée tout en réduisant quelque peu l'importance des lobes latéraux. Cette méthode tient compte des variations ionosphériques.

FIGURE 4 a)



Hauteurs typiques de la couche F2; décembre



Hautéurs typiques de la couche F2, Juin

Figure 4 b)

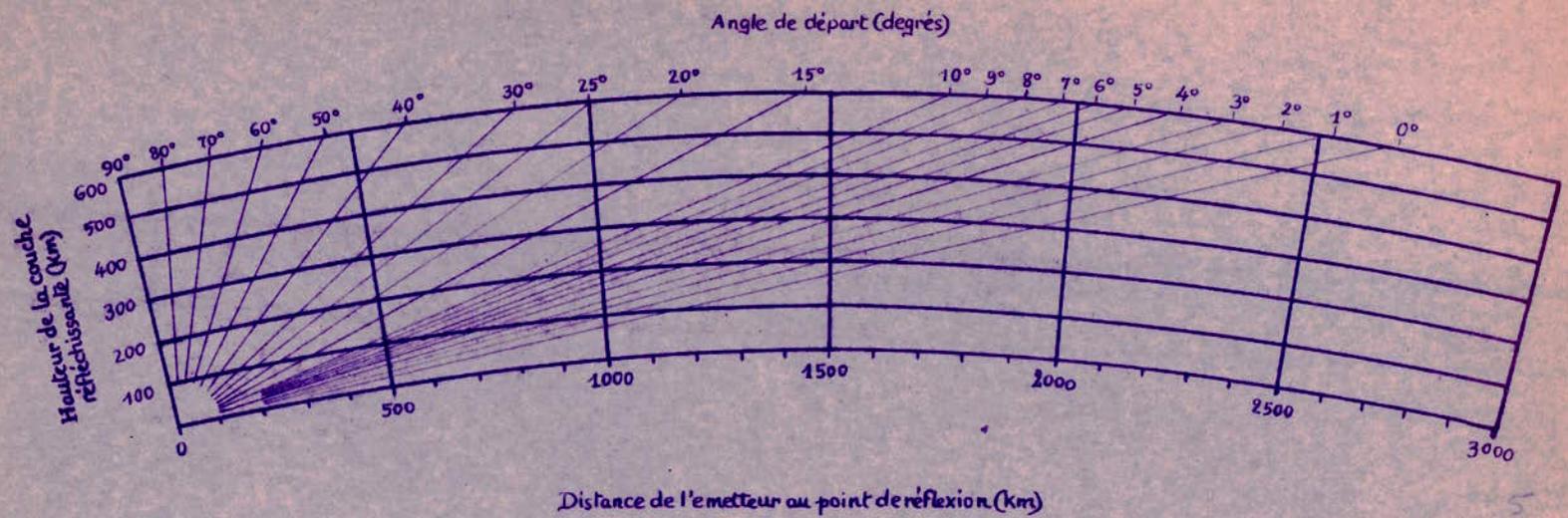


FIGURE 5

Cette méthode a été donnée par Arsenberg dans son ouvrage (les antennes à ondes courtes) édité à Nelson et al. Dans le cas de notre liaison Alger Colombéchar.

III) Données géographiques

Alger $3^{\circ}5'$ longitude Est (5.0) ;
 $36^{\circ}50'$ latitude Nord (36.83)

Colombéchar $2^{\circ}10'$ longitude Ouest
 $31^{\circ}40'$ de latitude Nord.

$$d = 740 \text{ km}$$

Latitude du point milieu $34^{\circ}30'$

III.2 Détermination des angles de tir à prévoir.

a) On détermine d'après la figure 5 les angles de départ à prévoir.

sachant que la hauteur typique de couche F_2 juin et décembre pour une distance de 200 à 1500 km (figure 6-7)

la probabilité maximum correspond à une liaison avec une seule réflexion sur la couche F_2 .)

F_2 juin 275 à 375 km figure 4a

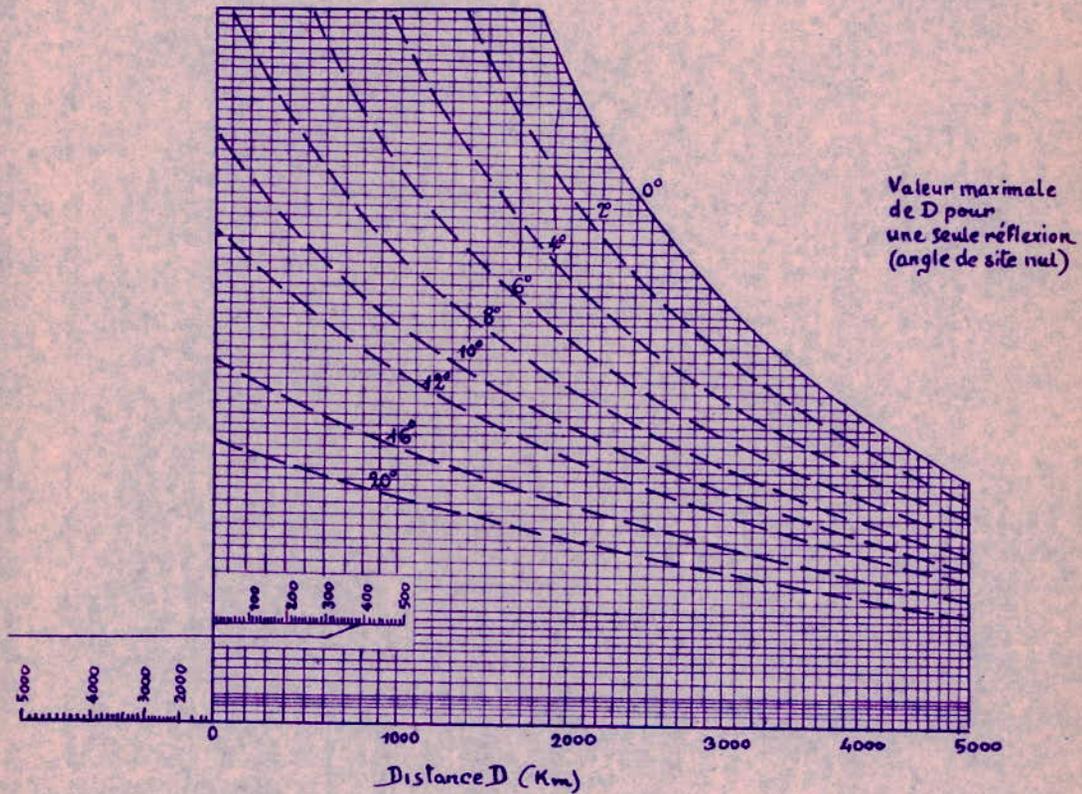
F_2 décembre 225 à 250km . 4b

Ces considérations supposent que la liaison ait lieu avec une seule réflexion pendant 24h de trafic.

Afin de permettre une réflexion sur l'une quelconque des couches ionisées pendant le jour ou de nuit sur la couche E.

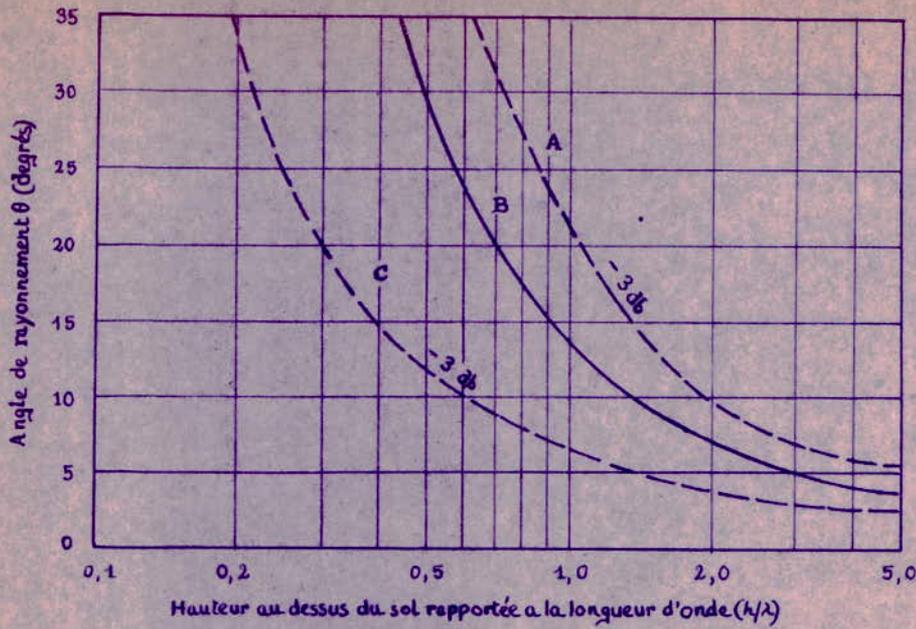
Nous prenons les angles de tir pour des latitudes de 150km à 375 km et parfois plus (figure 5) et fig 6 donne une évaluation plus précise de θ $8^{\circ} < \theta < 30^{\circ}$

Figure 6

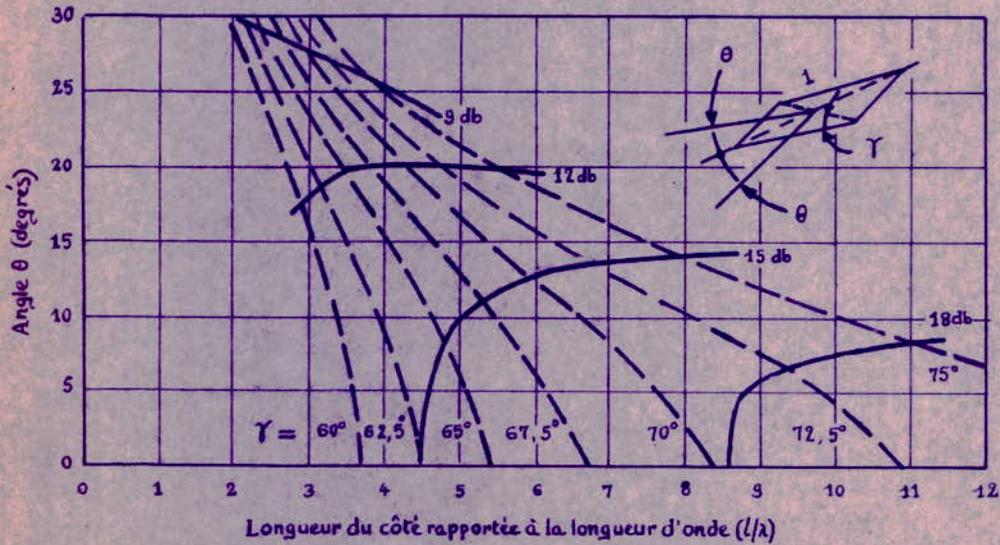


Angle de rayonnement en fonction de la portée et de la hauteur de la couche ionosphérique de réflexion

FIGURE 10



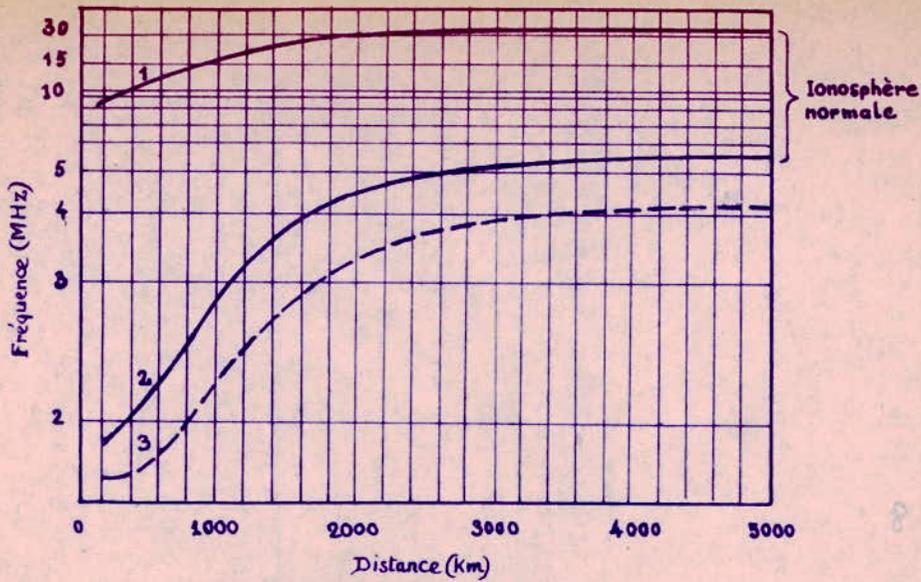
Angle de rayonnement utile en fonction de la hauteur de l'antenne
 Courbe A: Points à -3 dB (partie supérieure)
 Courbe B: Lobe maximal
 Courbe C: Points à -3 dB (partie inférieure)



Antenne en losange dans l'espace libre: courbes du gain maximal

FIGURE 11

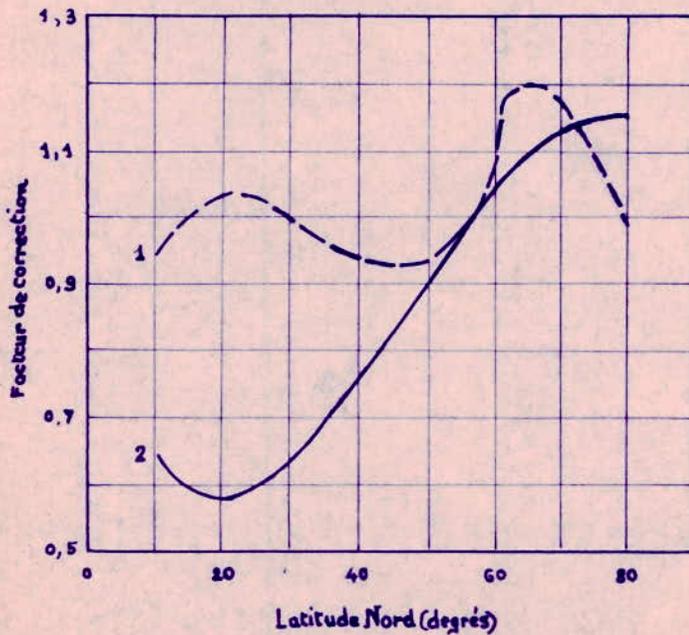
FIGURE 8



Bandes de fréquence nécessaires

- Courbe 1: Fréquence la plus élevée, pouvant être reçue l'été, de jour, en période d'activité solaire maximale.
- Courbe 2: Fréquence la plus basse, pouvant être reçue l'hiver, de nuit en période d'activité solaire minimale.
- Courbe 3: Fréquence la plus basse, pouvant être reçue l'hiver, de nuit en période d'activité solaire minimale et en présence de perturbations ionosphériques.

FIGURE 9



Facteur de correction permettant de déterminer les bandes de fréquence nécessaires pour des latitudes autres que 56° Nord

- Courbe 1 = été, de jour
- Courbe 2 = hiver, de nuit

III.) Choix de la bande de fréquence

Nous devons connaître les bandes de fréquences requises pour assurer la liaison pendant 24h aux différentes saisons de l'année.

La figure 8 donne les courbes à cet effet établies pour 24h. Le trafic pendant tout une année pour les périodes où l'activité solaire est maximal ou minimal.

Nous rappelons que dans les applications aux radio-communications sur ondes décimétriques, on a choisi les valeurs de R nombre de Wolf (5,10,125) pour caractériser les diverses conditions d'activité solaire (base-moyenne-haute) au cours d'un cycle indécennal d'act-moyenne.

Les courbes de la figure 8 sont tracées par une latitude de 56° Nord. la figure 9 donne la valeur du facteur de correction à appliquer dans le calcul des fréquences qu'il faut utiliser sur d'autres latitudes.

été de jour $D = 0,97$

hiver de nuit $D = 0,68$

Détermination de la bande de fréquence.

Fréquence la plus élevée reçue l'été de jour 14MHz

Fréquence la plus basse reçue l'hiver de nuit

24. MHz

Fréquence la plus basse reçue l'hiver de nuit

(A.S Maximum) 1,8 MHz. (voir figure 8_9)

en tenant compte du facteur de correction.

été jour $14 \times 0,97 = 13,58$ MHz

hiver nuit $2,4 \times 0,68 = 1,63$ MHz

jour 1,8 MHz

.../...

Restriction : la bande de fréquence inférieure à 2MHz est réservée généralement aux services utilisant la propagation par onde au sol.

Nous travaillerons dans la bande 2-14 MHz il est recommandé d'utiliser 2 antennes quand le rapport des fréquences extrêmes et supérieures à 2. une pour la partie supérieure une pour la partie inférieure.

II.4 Dimensionnement de l'antenne

Détermination de λ et λ' (figure 11)

Si on se propose de travailler dans la bande de 7 à 14MHz. Nous choisissons les valeurs des paramètres λ et λ' pour lesquelles on obtient un gain satisfaisant aux 2 extrémités.

$$7 \text{ MHz} \quad \lambda = \frac{310^8}{7 \cdot 10^6} = 42,8\text{m}$$

$$14 \text{ MHz} \quad \lambda' = 21,4\text{m}$$

on choisit tel que

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = 3,5 \quad P = 3\lambda = 3,5 \quad 32,1 \text{ ou } 112,45 \text{ m}$$

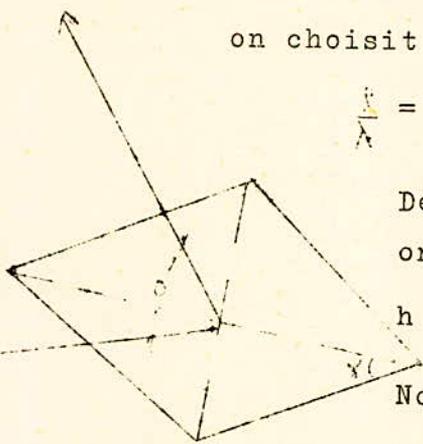
Détermination de h d'après la figure 10

on choisi h tel que $\frac{h}{\lambda} = 0,6$

$$h = 21,4\text{m} \times 0,6 = 12,64\text{m}$$

Nous prendrons h = 13m

On prendra $\alpha = 62^\circ 5$ pour un gain de 12,5 db



- BIBLIOGRAPHIE -

- Radioélectricité générale (circuits lignes-antennes -propagation hyperfréquences) H.VEAUX (éditions Eyrolles)
- Cours de radioélectricité générale(propagation des ondes)
P.DAVID
J.VOGE (éditions Eyrolles)
- Instructions d'emploi des prévisions pour la propagation ionosphérique des ondes radioélectriques
D.P.I. du C.N.E.T.(édition de septembre 1960)
- Les antennes directives pour ondes décimétriques
U.I.T. Genève 1962)
- Documents des IX^{ème} et X^{ème} Assemblées plénières du C.C.I.R.
U.I.T. Genève 1959)
- Articles du Journal des télécommunications (U.I.T. Juillet 64 (Détermination d'un jeu de fréquences permettant d'exploiter une liaison en ondes décimétriques)

par Walter GARSIRRIOS(I.F.R.B)

Département *Telecommunications*

NIVEAU DE PUISSANCE K_P
 EN FONCTION DE LA PUISSANCE
 DELIVREE PAR L'EMETTEUR
 A L'ANTENNE

I_a

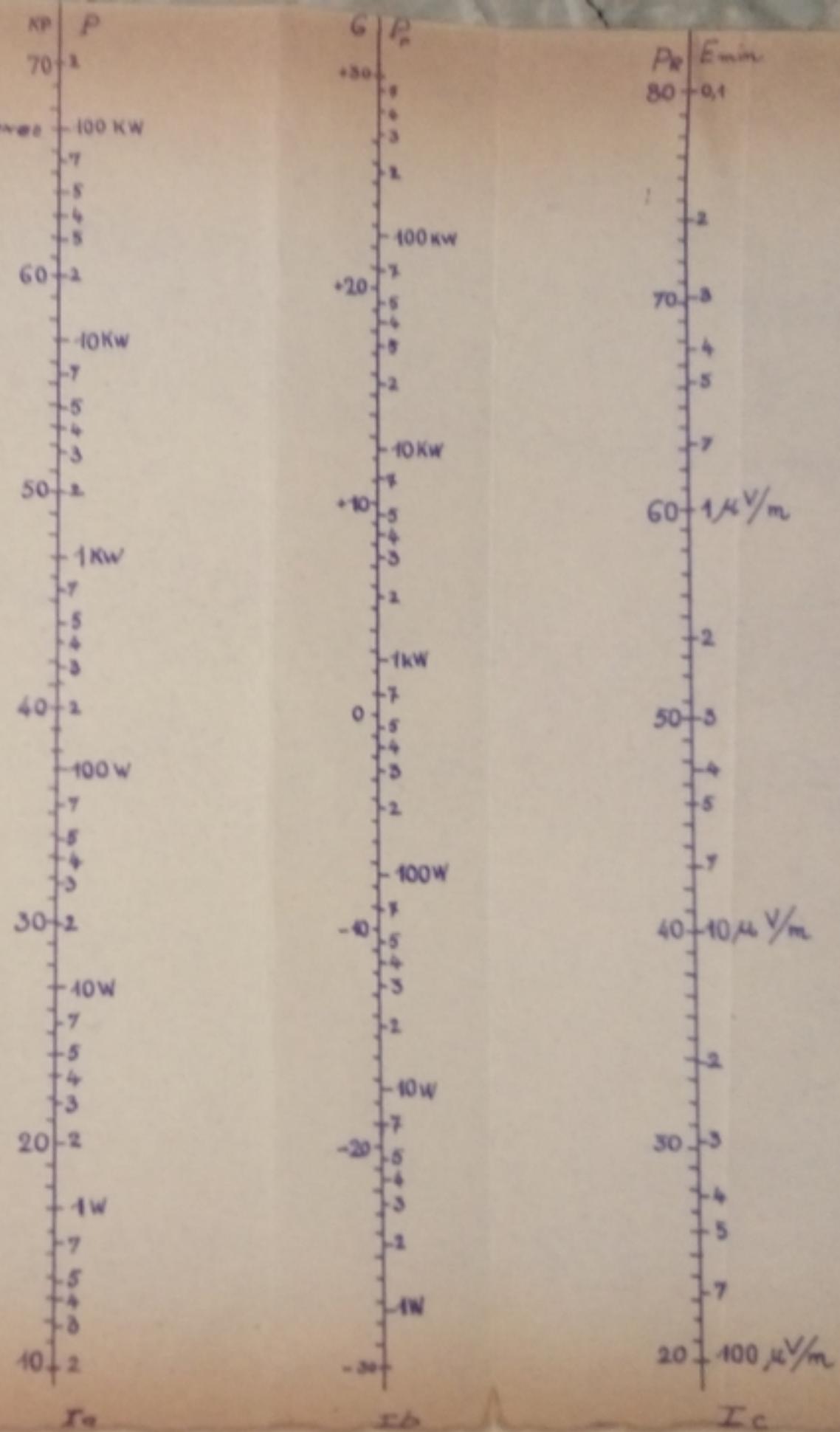
CORRESPONDANCE ENTRE
 LE GAIN D'ANTENNE G ET LA
 « PUISSANCE EFFECTIVEMENT
 ZONNEE » P_r

I_b

POUVOIR ACCEPTIF P_r
 EN FONCTION DU CHAMP
 MINIMUM E_{min} NECESSAIRE
 A LA RECEPTION

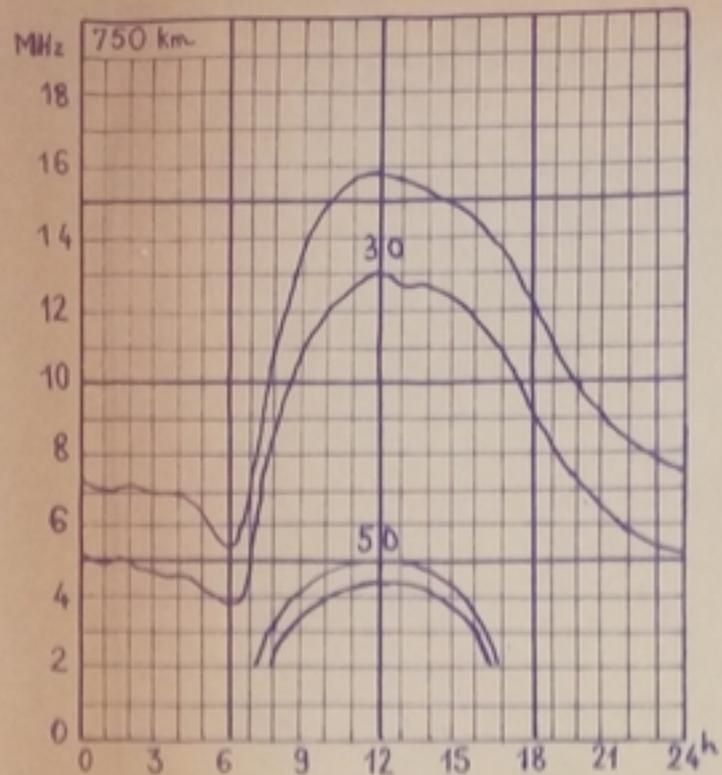
I_c

Fig. 1



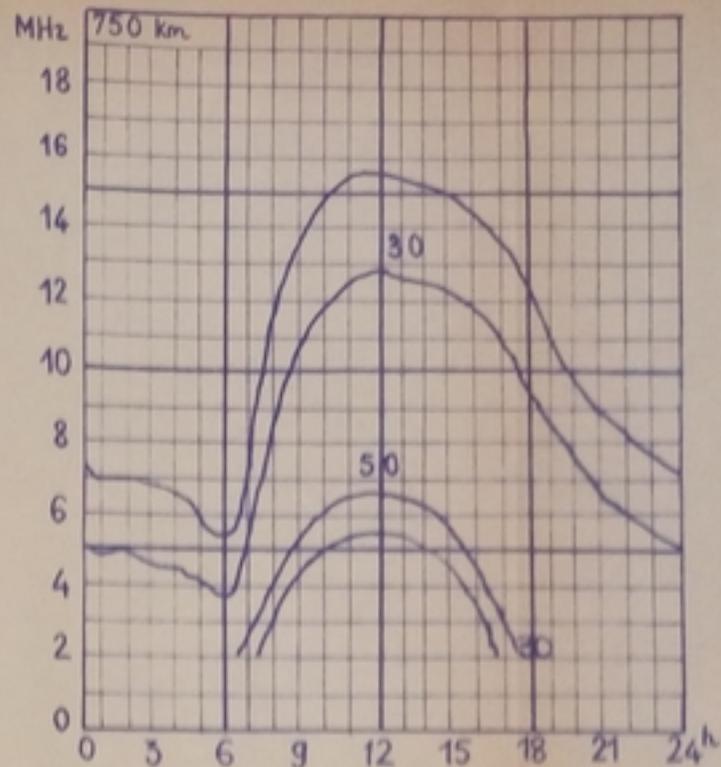
CAS Z

P_T 100 dB



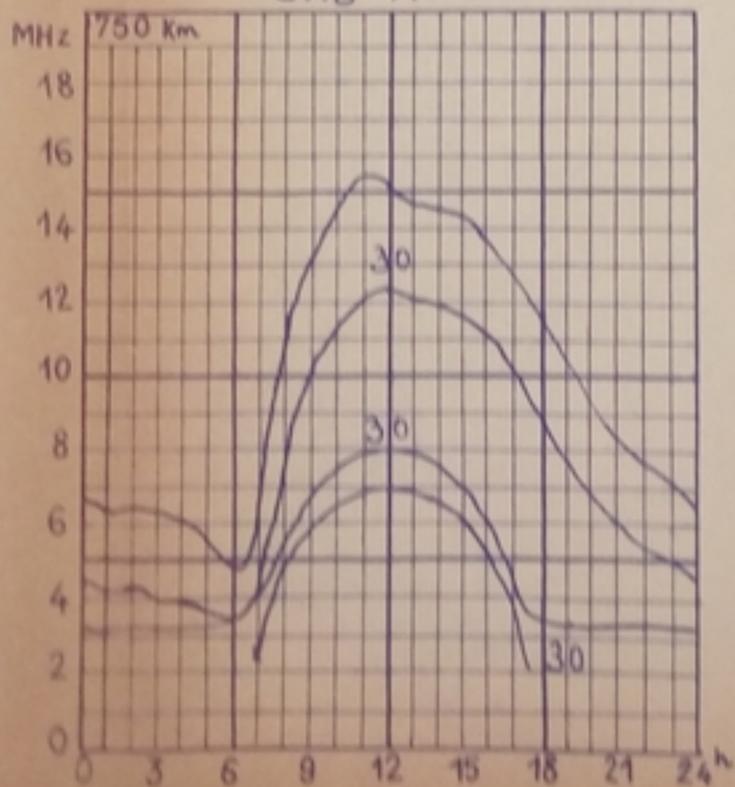
CAS B

85 dB



CAS A

70 dB



MAY 1968

Fig. 2

GAIN D'UNE ANTENNE
 demi-onde horizontale
 9m15 AU-DESSUS DU SOL.

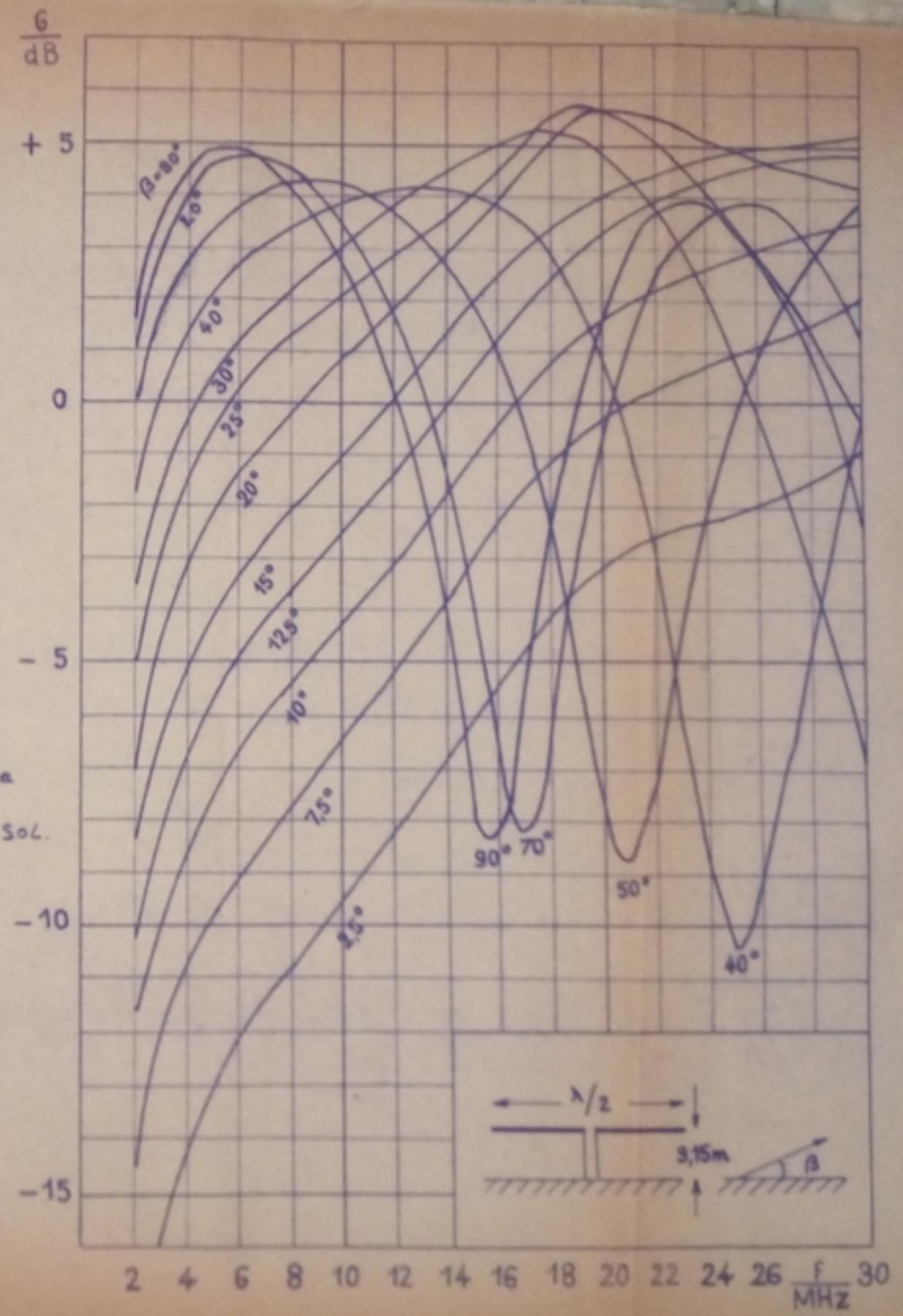
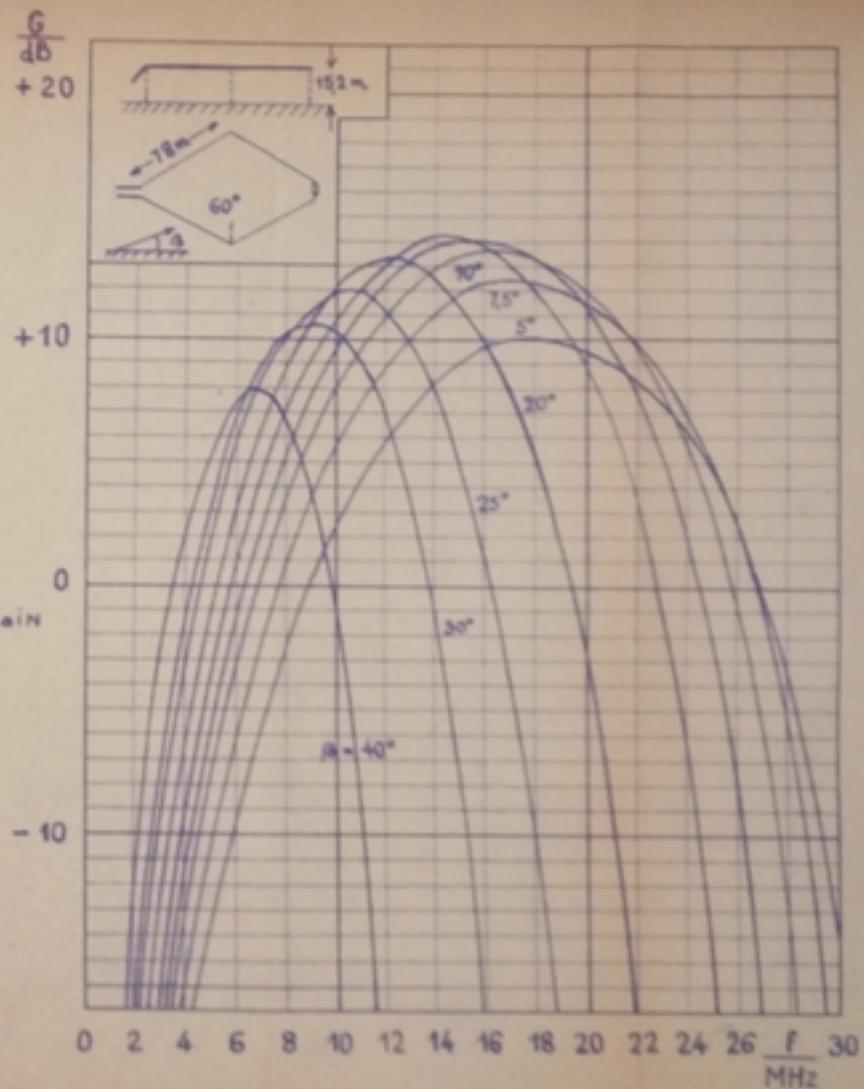


Fig: 3

PA00268

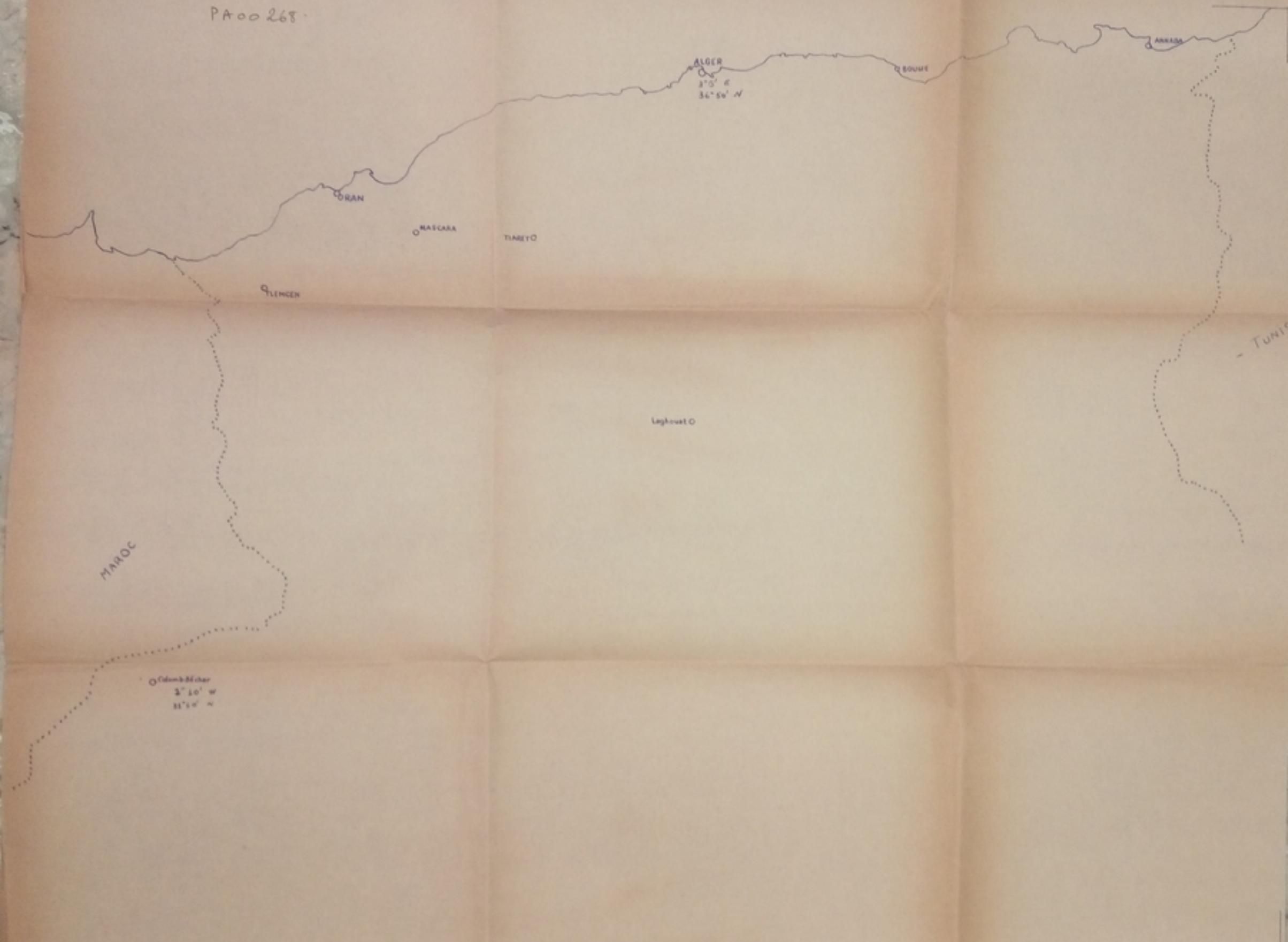
GAIN D'UNE ANTENNE
LOSANGE type F
DU SIGNAL CORPS AMERICAIN

Fig. 4



PA 00 268

- MER MEDITERRANEE -



ORAN

MASCARA

TINEYO

ALGER

3° 0' E
36° 56' N

BOUME

ANNABA

GLENCEN

MAROC

Colomb Béchar
3° 10' W
31° 50' N

Lighthouse O

- Tunisie

Echelle : 1/1 000 000

