

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

16/80

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

2ed

U.S.T.A

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

INTRODUCTION A LA 2^e CHAÎNE

— T . V . —

ÉTUDE DE LA PROPAGATION EN V.H.F.-U.H.F.

APPLICATION A UN CENTRE EN U.H.F.

(CAS D'AKFADOU)



PROPOSE PAR:

MF BAGHLI Md

ÉTUDE PAR:

BOUZID AMMAR

et

HECHICHE ALI



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U.S.T.A

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

INTRODUCTION A LA 2^e CHAINE

— T . V . —

ETUDE DE LA PROPAGATION EN V.H.F.-U.H.F.

APPLICATION A UN CENTRE EN U.H.F.

(CAS D'AKFADOU)

PROPOSE PAR:

MF BAGHLI M^d

ETUDIE PAR:

BOUZID AMMAR

et

HECHICHE ALI

PROMOTION - JUIN - 1980

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمِنْ مَّا نُنزِّلُ فِيهَا مَقَالِيدَ مِمَّا يُدْعَى
بِهَا اللَّهُ فِي عَمَلِهِمْ كَمَا نُنزِّلُ فِيهَا
مَائِدًا مِنَ السَّمَاءِ فِي يَوْمٍ ذِي قُرْبَىٰ

DEDICACE

Pour la Bibliothèque
de l'ENPA
0

Nous dédions ce modeste travail :

- à toute personne qui témoigne que:
" IL N'YA DE DIEU QU'ALLAH ET QUE MOHAMMED EST LE MESSAGER
D'ALLAH"

- à notre grande famille de la MOSQUEE DES ETUDIANTS

Ammar et Ali

o

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent :

- à tous ceux qui ont participé de près ou de
loin à notre formation.

- au personnel de la R.T.A. qui a fourni un effort
pour l'élaboration du présent travail.

- à notre promoteur Mr. Baghli.

Ammar et Ali

INTRODUCTION

Dans le cadre de la poursuite d'une politique de progrès Social et Culturel continue, la charte Nationale avait prévue notamment dans son titre VII chapitre VI paragraphe C .

" La couverture du territoire par le réseau Télévisé sera parachevée, en même temps que sera crée une deuxième chaine d'émission afin d'intensifier les programmes éducatifs et ceux destinés à la formation et à la vulgarisation des connaissances Scientifiques et Techniques".

Cette deuxième chaine de TV fonctionnera nécessairement dans la gamme de fréquences U.H.F , la 1ère chaine de TV occupant le spectre de fréquences V.H.F.

L'installation des émetteurs U.H.F sera dans les bâtiments utilisés par la V.H.F (conditions économiques, situation géographique).

Pour implanter un émetteur quelconque, il faut tout d'abord choisir cet émetteur. Ce choix est basé sur des données techniques et théoriques. On étudiera essentiellement, dans la gamme V.H.F - U.H.F, les données théoriques pour les appliquer ensuite à un cas concret.

Cette étude passe en revue les équations de MAXWELL pour aboutir à l'équation d'ondes dont une solution sera appliquée pour un milieu quelconque.

Pour un milieu unique et homogène, exempt de tout obstacle sur le trajet de propagation, le rayonnement des ondes est en espace libre (référence de tout calcul).

Le modèle le plus simple pour étudier la propagation dans l'atmosphère terrestre, consiste à considérer la terre comme sphérique et l'atmosphère comme homogène. Aussi simple que soit ce modèle , la solution mathématique d'un tel problème est déjà complexe.

Plusieurs approches ont été proposés pour étudier le phénomène réel (diffraction, réflexion, réfraction, sphéricité de la terre, etc...).

L'application de toute méthode nécessite les coupes de terrain au voisinage d'un émetteur pour prévoir le champ à la réception.

Les courbes équichamp déterminent la zone de service de l'émetteur en question .

Pour conclure, l'antenne choisie sera celle dont le diagramme de rayonnement couvre la zone de service obtenue par le calcul.

Introduction

On part des formules de bases exprimant la propagation en espace libre. On ajoute ensuite sous forme de termes correctifs (parfois très importants), les effets du sol, des obstacles, de l'atmosphère réelle, etc...

Les formules de bases découlent des équations de Maxwell . On étudie le rayonnement dans un milieu diélectrique, homogène isotrope et sans "perte", ("transparent" pour les ondes électromagnétiques) loin de tout obstacle.

Il faudra passer au cas réel de la propagation autour de la terre en tenant compte de sa courbure, des irrégularités superficielles et des propriétés des différentes couches d'air qui l'entourent. Aucune solution satisfaisante n'a été trouvée pour ce type de problème. Des hypothèses simplificatrices ont été introduites en considérant séparément plusieurs types de propagations et différentes gammes d'ondes (pour notre étude les fréquences V.H.F et U.H.F).

I Propagation des Ondes planes

1 Rappel sur les Eq. de MAXWELL :

a) L'expression des Eq. est la suivantes :

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho \quad (3)$$

$$\text{div } \vec{B} = 0 \quad (4)$$

avec l'Eq. de conservation de la charge :

$$\text{div } \vec{J} = - \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (5)$$

On remarque que ces Eq. décrivent le phénomène physique réel . Elles constituent la base théorique de la propagation.

On démontre que ces éq. traduisent le phénomène physique réel. Elles résument les lois essentielles de la propagation.

En notation complexe (artifice de calcul), elles deviennent :

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} - j\omega \vec{D} \quad (1)$$

$$\text{rot } \vec{E} = j\omega \vec{B} \quad (2)$$

$$\text{div } \vec{B} = \rho \quad (3)$$

$$\text{div } \vec{E} = 0 \quad (4)$$

avec $\text{div } \vec{J} = j\omega \rho \quad (5)$

Les milieux de propagation sont supposés isotropes (ϵ , μ et σ ne sont pas des tenseurs).

donc $\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (6)$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (7)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (8)$$

Afin que les éq. deviennent

$$\text{rot } \vec{H} = -j\omega \epsilon' \vec{E} \quad (1'')$$

$$\text{rot } \vec{E} = j\omega \mu \vec{H} \quad (2'')$$

$$\text{div } \epsilon' \vec{E} = 0 \quad (3'')$$

$$\text{div } \mu \vec{H} = 0 \quad (4'')$$

Avec $\text{div } \sigma \vec{E} = j\omega \rho \quad (5'')$

$$\text{où } \epsilon' = \epsilon + j \frac{\sigma}{\omega} \quad (9)$$

Au lieu des grandeurs ϵ et ϵ' , on utilise souvent les grandeurs relatives sans dimensions.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\epsilon_r' = \frac{\epsilon'}{\epsilon_0} = \epsilon_r + j \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega}$$

$$\epsilon_r' = \epsilon_r + j s \quad (10) \text{ avec } s = 60 \sigma \lambda_0 \quad (11)$$

Pour aboutir à l'indice de réfraction (qui caractérise le milieu de propagation) défini par

$$n = \sqrt{\epsilon_r' \mu_r} \quad (12)$$

Il est important de noter :

Les grandeurs ϵ_r , μ_r , σ et λ_0 sont des grandeurs relatives sans dimensions. Elles sont liées à l'indice de réfraction n par la relation $n = \sqrt{\epsilon_r' \mu_r}$.

b) Equation des ondes :

On cherche à résoudre les éq. de MAXWELL par rapport au champ électrique (ou magnétique). Pour cela on suppose un milieu indéfini et homogène (σ et ϵ_r indépendante du point).

$$\text{rot} (\text{rot } \vec{E}) = \text{rot} (j \omega \mu \vec{H}) = j \omega \mu \text{rot } \vec{H}$$

Comme $\text{rot } \vec{H} = -j \omega \epsilon' \vec{E}$ donc $\text{rot rot } \vec{E} = +\omega^2 \epsilon' \mu \vec{E}$

de plus

$$\text{rot rot } \vec{E} = \text{grad. div } \vec{E} - \Delta \vec{E}$$
$$\text{div } \vec{E} = 0$$

pour aboutir à

$$-\Delta \vec{E} = j \omega \mu (-j \omega \epsilon' \vec{E})$$
$$\Delta \vec{E} = -\omega^2 \mu \epsilon' \vec{E}$$

ou $\Delta \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0$ (13)

avec $k^2 = \omega^2 \mu \epsilon' = \epsilon_r \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 \Rightarrow k = \frac{\omega n}{c}$ (14)

L'équation (13) est connue sous le nom d'"équation des ondes"

c) Solution de l'équation d'ondes

L'une des solutions de l'équation (13) est :

$$\vec{E}(x, y, z) e^{-j \omega t} = \vec{E}_0 e^{j(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

où k est réel pour un milieu diélectrique pur ($\sigma = 0$).

Dans le cas général et dans un milieu quelconque k est complexe.

$$k(k_x, k_y, k_z) = k' + j k''$$

La solution prend la forme suivante :

$$\vec{E} e^{-j \omega t} = \vec{E}_0 e^{j(\vec{q} \cdot \vec{r} - \omega t)} e^{-\vec{p} \cdot \vec{r}}$$

Où $q = (k_x, k_y, k_z)$ vecteur de propagation de phase

$P = (k''_x, k''_y, k''_z)$ donnant l'affaiblissement en $e^{-P \cdot r}$

Jusqu'à présent les ondes ont été considérées comme planes, cette notion devient insuffisante du fait que la source réelle (antenne) est de dimensions finies, par conséquent la répartition du champ n'est pas uniforme. On est ainsi ramené à la notion des ondes sphériques qu'on verra ultérieurement.

Enfin les ondes planes ne sont qu'une approximation des ondes réelles (ondes sphériques reçues à grande distance).

2) Caractéristiques des milieux de propagation :

a) Introduction .

On examine les caractéristiques des milieux où s'effectue la propagation des ondes V.H.F et U.H.F (sol, troposphère). La constante diélectrique ϵ_r , la conductibilité σ et la perméabilité μ du milieu jouent un rôle déterminant dans le comportement de l'onde au sein du milieu considéré.

b) Etude du sol

Les constantes ϵ_r , et σ varient suivant la structure géologique du sol considéré. Aux fréquences élevées, ϵ_r présente une partie imaginaire due à l'hystérésis donc on a

$$J_m(\epsilon_r) = \frac{\sigma_{\text{fict}}}{\epsilon_0 \omega}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_r' &= \Re(\epsilon_r) + j \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega} + J_m(\epsilon_r) \\ &= \Re(\epsilon_r) + j \frac{\sigma_{\text{tot}}}{\epsilon_0 \omega} \end{aligned}$$

Ce qui conduit à la séparation en :

- Comportement "vitreux" : $s \ll 60 \sigma \lambda_0$
- Comportement "métallique" : $s \gg 60 \sigma \lambda_0$

On définit ainsi la profondeur de pénétration $l_p = \frac{1}{\alpha}$ comme la longueur pour laquelle l'amplitude de l'onde est réduite dans le rapport $\frac{1}{e}$ (37 %).

c) Etude de la troposphère

C'est la partie basse de l'atmosphère où la température décroît quand l'altitude augmente. La plus grande partie des communications ont au moins une partie de leur trajet dans ce milieu. Les caractéristiques électriques (f_r est voisine de 1,0005 et σ voisine de 0) sont proches de celles du vide, par conséquent, la constante diélectrique complexe ϵ_f' , et l'indice de réfraction n sont de l'ordre de l'unité.

Pour les ondes très hautes fréquences, elle est absorbante et diffusante car l'atmosphère est un milieu dans lequel se trouve des molécules discrètes (non contenu).

3) Propagation en espace libre

a) Introduction

Dans la réalité, les ondes émises par une antenne sont sphériques. On doit donc étudier la nature et l'aspect de ces ondes pour résoudre le problème de propagation en espace libre (milieu unique homogène, exempt de tout obstacle). Ce phénomène est pris le plus souvent comme référence pour toutes les études de transmission.

b) Formules fondamentales

* Si l'émetteur dessert de nombreux récepteurs distribués aléatoirement, on a le champ à une distance de l'émetteur dans une direction donnée par la relation

$$E = 173 \frac{\sqrt{P} \text{ (KW)}}{d \text{ (Km)}} \quad , \quad P, \text{ puissance isotrope rayonnée}$$

l'abaque de la fig .1 traduit cette relation.

* Si la liaison est entre points fixes, on calcule de préférence l'affaiblissement entre antennes isotropes (affaiblissement de transmission de référence)

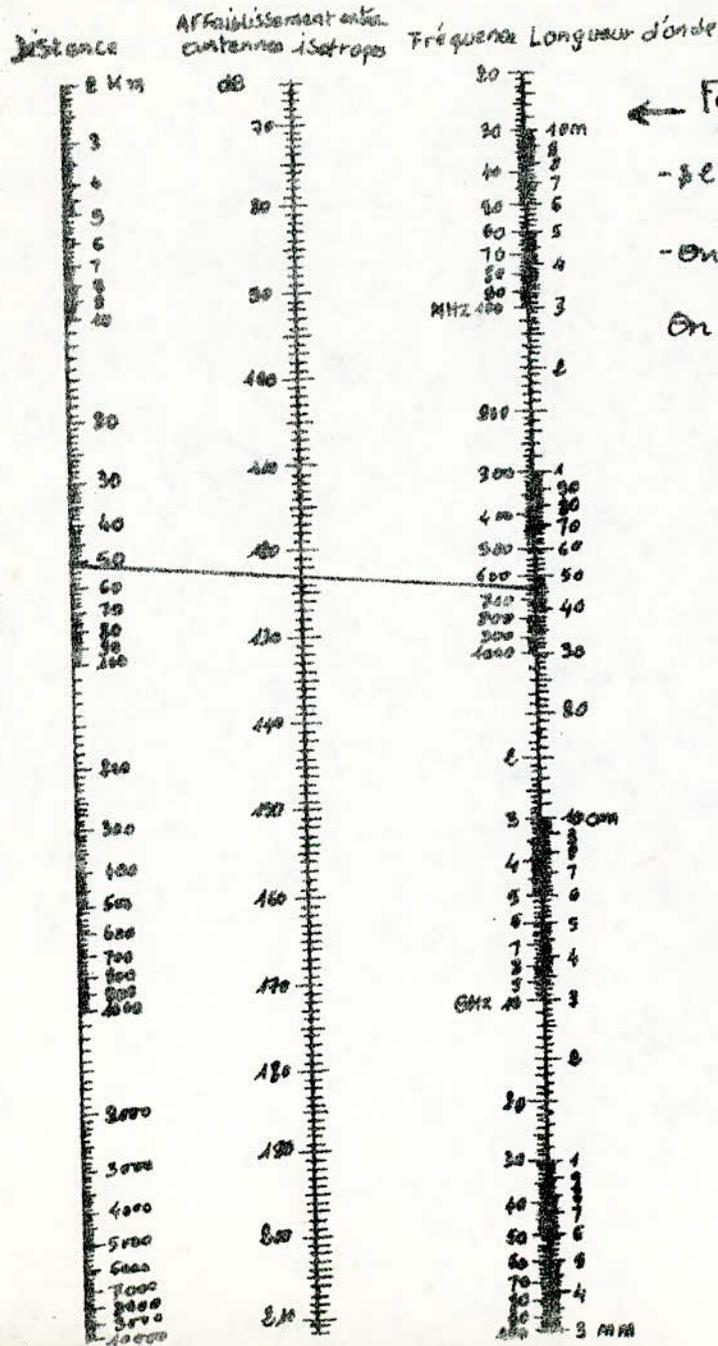
$$\frac{L}{\text{(db)}} = 32,45 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 20 \log d_{\text{Km}} \quad (\text{fig.2}).$$

En outre il existe des relations entre les caractéristiques d'une onde plane (ou d'une onde assimilable à une onde plane en un point).

$$P = \frac{E^2}{120\pi} = \frac{4\pi P}{\lambda^2} \quad (\text{Fig. 3})$$

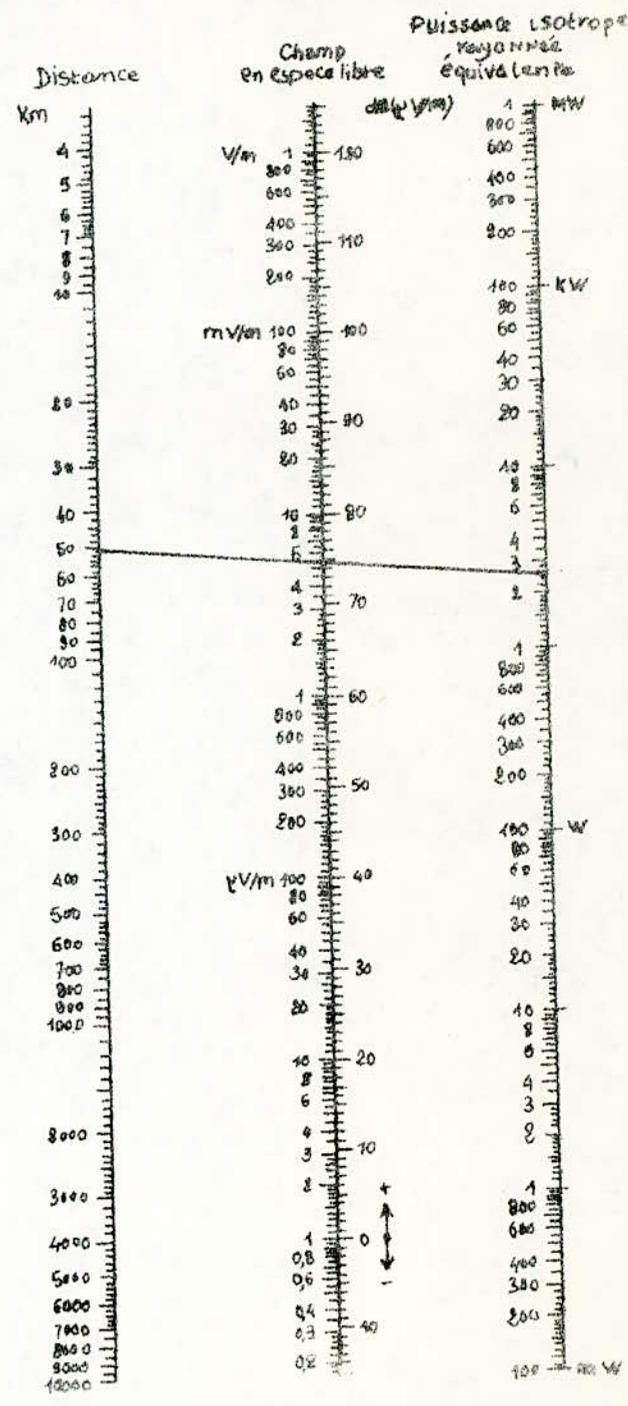
P étant la puissance surfacique; E étant le champ.

P étant la puissance captée par une antenne isotrope placée en ce point.



← Fig 2: Pour $d=50\text{km}$ et $f=650\text{MHz}$, l'affaiblissement L_b en espace libre est l'intersection de la droite joignant d et f on lit $L_b = 123\text{dB}$

Fig. 1: Pour la même distance $d=50\text{km}$ et une P.A.R = $2,5\text{KW}$ le champ en espace libre se trouve à l'intersection de la droite joignant d et P.A.R on lit $E = 75\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ ou $E = 5,5\text{mV}/\text{m}$ →



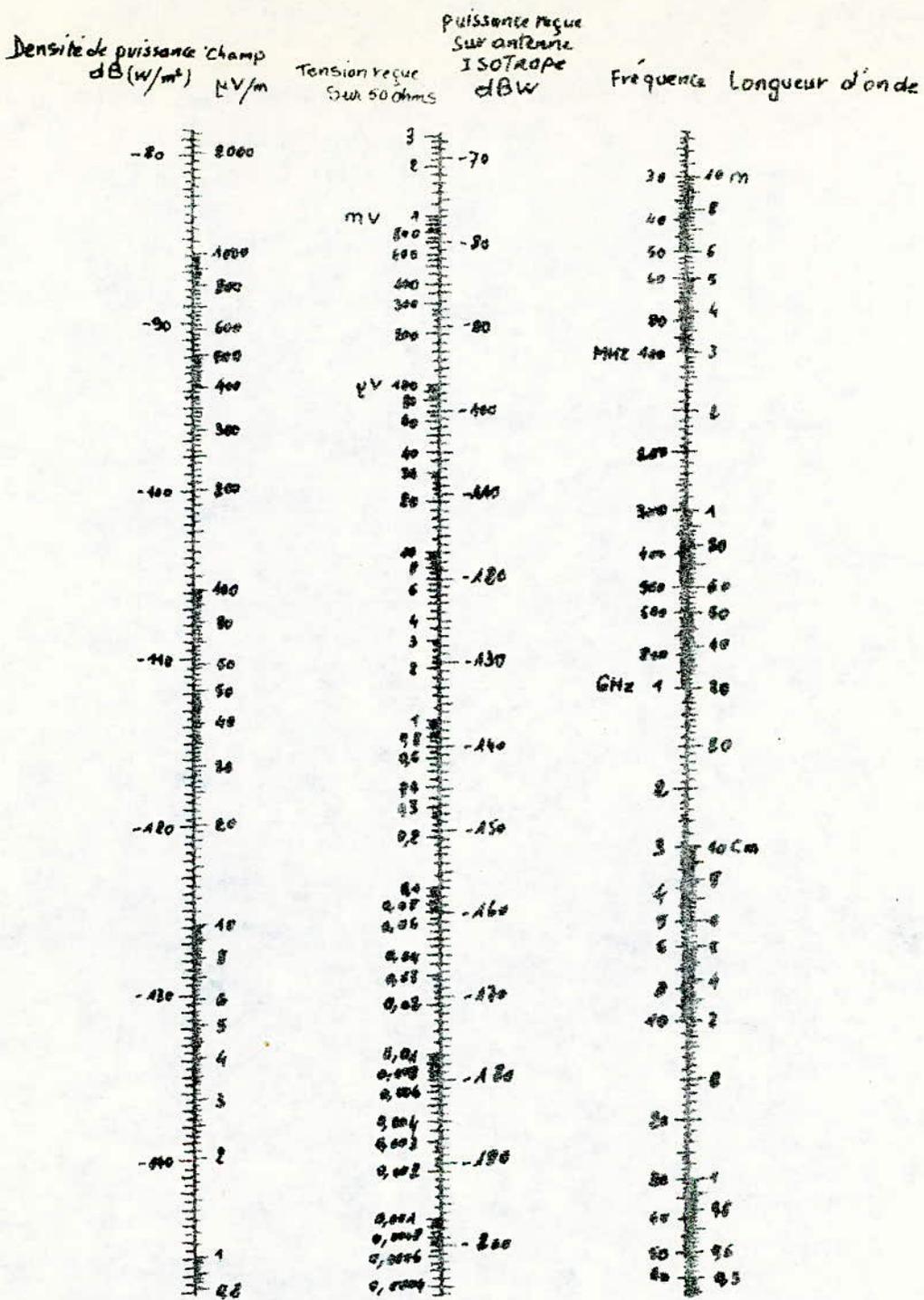


FIGURE 3
 Caractéristiques d'une onde plane

1 puissance Totale Rayonnée

Le vecteur de Poynting est défini par :

$$\vec{S} = \vec{E} \wedge \vec{H}$$

Comme $\frac{|\vec{E}|}{|\vec{H}|} = \eta = 120\pi$ et \vec{E} et \vec{H} orthogonales

donc $|\vec{S}| = \frac{E^2}{120\pi}$ (où E est la valeur efficace du champ)

Calculons le flux de S à travers une surface Σ limitant un volume V

$$\iint_{\Sigma} S d\Sigma = \iiint_V \text{div} \vec{S} dV \quad (\text{formule de Green})$$

or $\text{div} \vec{S} = \text{div}(\vec{E} \wedge \vec{H}) = \vec{H} \text{rot} \vec{E} - \vec{E} \text{rot} \vec{H}$

et $\begin{cases} \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \\ \text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J} + \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{cases}$

donc $\text{div} \vec{S} = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\epsilon E^2 + \mu H^2}{2} \right) - \vec{E} \cdot \vec{J}$

d'où : $\iint_{\Sigma} \vec{S} d\Sigma + \iiint_V \vec{E} \cdot \vec{J} = -\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \left(\frac{\epsilon E^2 + \mu H^2}{2} \right) dV$

Le terme $\frac{\epsilon E^2 + \mu H^2}{2}$ définit la densité d'énergie électromagnétique.

Si le milieu est sans pertes, alors le terme $\iiint_V \vec{E} \cdot \vec{J} dV$ représentant la perte de puissance par effet joule est nul.

La diminution d'énergie électromagnétique par unité de volume et de temps représente la puissance rayonnée à travers Σ (flux de S)

$$P = \iint_{\Sigma} \vec{S} \cdot d\vec{\Sigma}$$

Par conséquent, la puissance par unité de surface est $P = \sqrt{S} = \frac{\sqrt{E^2}}{120\sqrt{\pi}}$ (1)

2 Champ Rayonné par une Antenne Isotrope

En espace libre, la puissance P rayonnée de façon isotrope en un point se retrouve sur une sphère de rayon d, centrée sur le point. La densité de puissance ρ sur cette sphère sera :

$$\rho = \frac{P}{4\pi d^2} \quad (2)$$

En combinant (1) et (2), on aboutit à :

$$E \text{ (v)} = \frac{\sqrt{30 P(w)}}{d(m)}$$

Si on utilise les unités pratiques (KW et Km)

$$\text{alors } E \text{ (mV/m)} = 173 \frac{\sqrt{P(KW)}}{d(Km)} \quad (3)$$

3 Affaiblissement en Espace libre

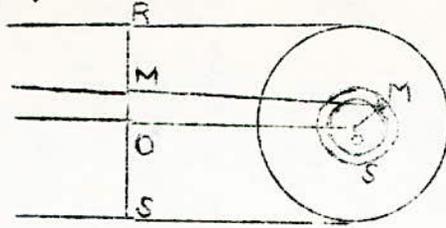
Si à une distance d se trouve une surface de captation S, la puissance reçu sur cette surface est :

$$P_r = \rho S = \frac{P}{4\pi d^2} \cdot S \quad (4)$$

où S est la surface effective de l'antenne : surface telle que tous les éléments du rayonnement captés en phase soient dirigés vers un même point en phase . Cette surface peut être reliée au gain G de l'antenne qui est le rapport (généralement exprimé en dB) entre la puissance nécessaire à l'entrée d'une antenne de référence

.../...

sans pertes et la puissance fournie à l'entrée de l'antenne donnée, pour que les deux antennes produisent dans une direction donnée le même champ ou la même puissance surfacique, à la même distance.



Considérons S normale au rayonnement. Tous les points distants de r par rapport à un point central O recevront un rayonnement (champ) déphasé de e^{jKr} (par rapport à celui reçu en O).

La surface S de rayon R ne recevra, au point O, que l'énergie.

$$P = \left| \int_R e^{jKr} dr \right|^2 P = \left| \frac{1}{jKR} e^{jKR} \right|^2 P = \left(\frac{1}{KR} \right)^2 P$$

donc $G = \frac{P}{P} = \frac{4\pi R^2}{\lambda^2}$

et comme $S = \pi R^2$ et $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$G = \frac{4\pi S}{\lambda^2} \quad (5)$$

(3) et (4) donne

$$Pr = \frac{P}{4\pi d^2} \frac{G \lambda^2}{4\pi} \quad (6)$$

Etant donné que P_r , puissance apparente rayonnée dans une direction donnée, est définie comme le produit de la puissance fournie à l'antenne par le gain de l'antenne par rapport à un doublet de mi-onde dans la même direction $P = P_e G_e$ (6) devient

$$Pr = P_e G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (7)$$

(7) est l'équation des télécommunications

L'affaiblissement de propagation est défini par :

$$L_{db} = -10 \log \frac{Pr}{Pe} \quad (8)$$

Dans le cas d'antennes isotropes ($G_e = G_r = 1$), l'affaiblissement est

$$\begin{aligned} L_{db} &= -10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \\ &= 32,45 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 20 \log d_{\text{km}} \quad (9) \end{aligned}$$

II Rôle du Sol :

Introduction ;

La terre apparaît comme une sphère. La réalité en est autre, les ondes rencontrent sur leur trajet des obstacles, de différents types.

Toutes les théories n'aboutissent qu'à des valeurs moyennes. Certaines simplifications sont prises en considérations:

- Les substances formant le sol sont remplacées par un matériau homogène ayant comme caractéristiques les valeurs moyennes de ces substances.
- Remplacer la terre par le plan tangent pour des liaisons courtes.
- considérer la terre comme une sphère parfaite.

1) Caractéristiques électriques du sol et facteurs influant sur les valeurs de ces constantes :

a) Caractéristiques :

Les propriétés électriques du sol s'expriment par μ_r, ϵ, σ . μ_r est prise le plus souvent égale à l'unité; les problèmes de propagation font intervenir ϵ et σ liées par la formule déjà citée au chap. 1

$$\epsilon' = \epsilon + j \frac{\sigma}{\omega} = \epsilon + j \frac{1800 \sigma}{f}$$

ϵ en F/m ; σ en mhos/m ; f en MHz .

Les fig. 4 et 5 donnent ϵ et σ en fonction de f

Vu les différences constatées dans les diverses parties du monde, σ peut varier considérablement. Aussi les valeurs sur les fig. 4 et 5 ne sont que des moyennes.

b) Facteurs influant sur ces caractéristiques :

La valeur équivalente de ces constantes dépend de plusieurs facteurs :

- nature du sol : la variation des constantes est due à l'absorption et la rétention d'humidité .

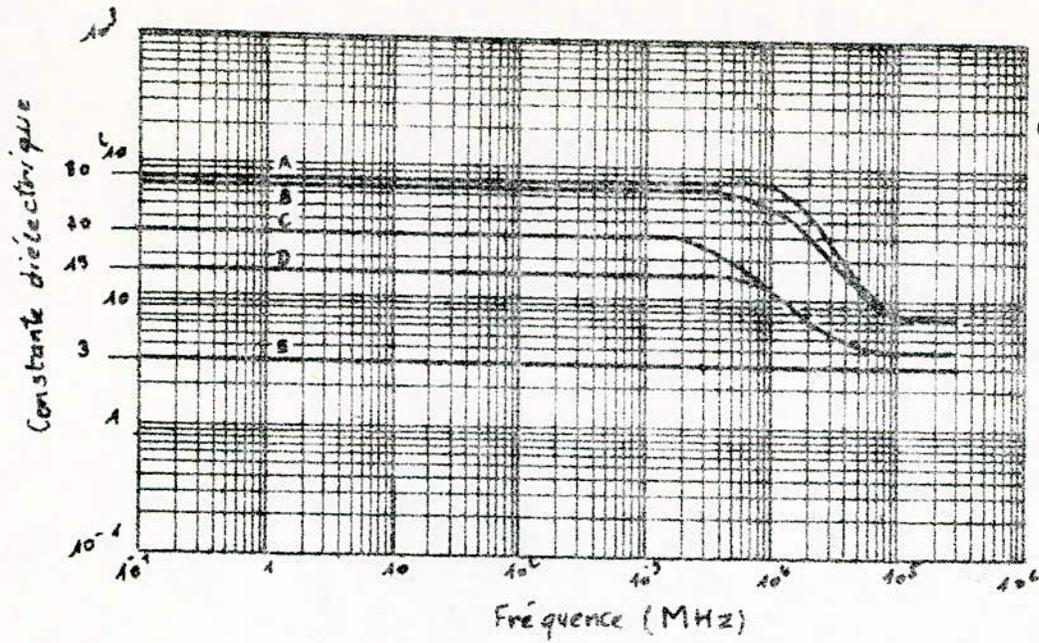


FIGURE 4
Constante diélectrique en
en fonction de la Fréquence

- A : Eau douce et eau pure (20°C)
- B : Eau de mer (20°C)
- C : Sol humide
- D : Sol moyennement humide
- E : Sol très sec et glace

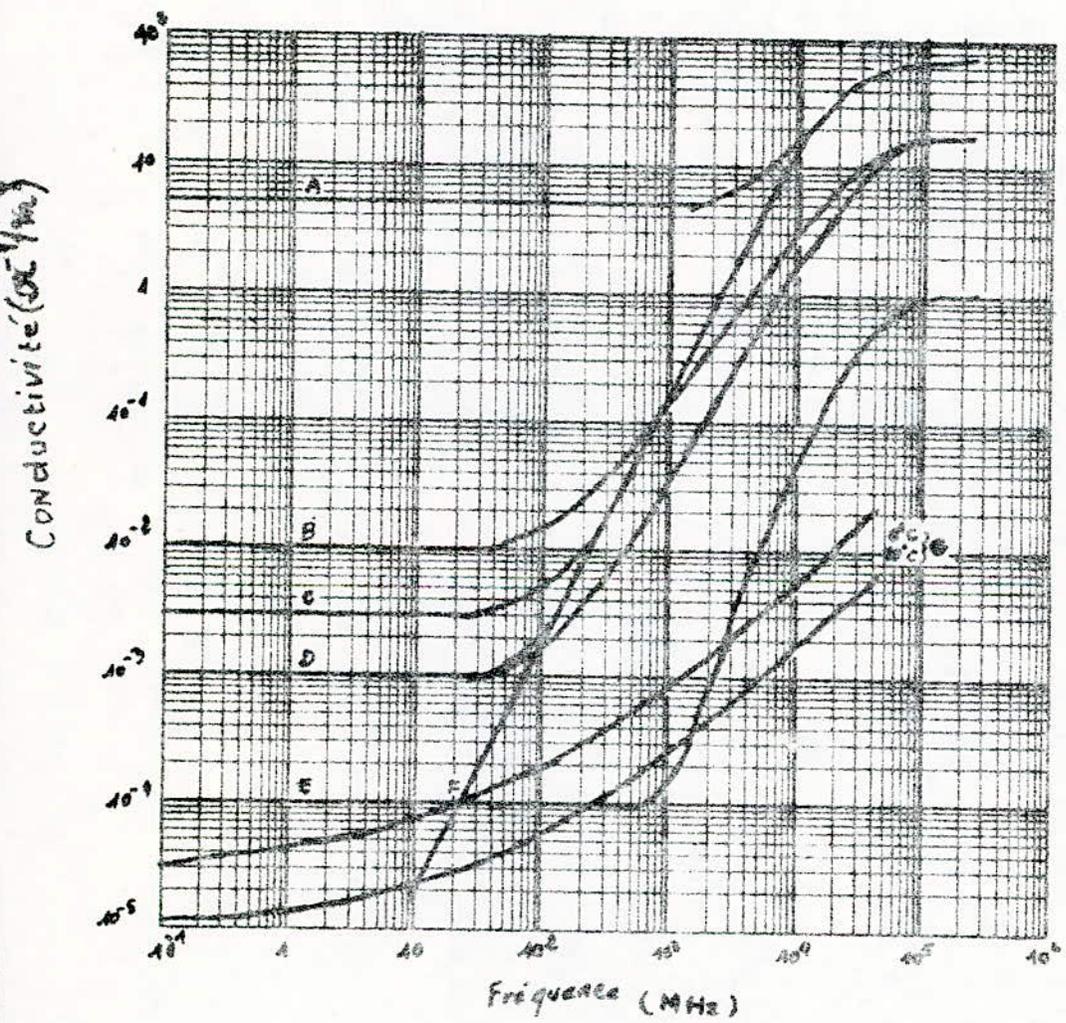


FIGURE 5
Conductivité en fonction de la
Fréquence

- A : Eau de mer (salinité moyenne 20°C)
- B : Sol humide
- C : Eau douce, 20°C
- D : Sol moyennement humide
- E : Sol très sec
- F : Eau pure, 20°C
- G : Glace (eau douce)

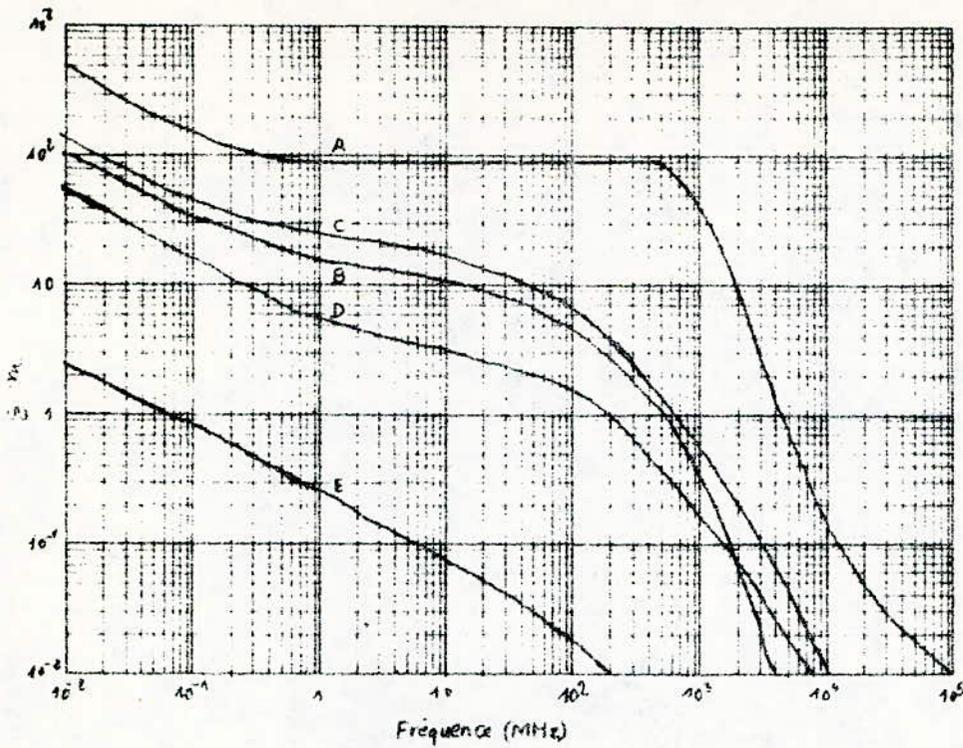


FIGURE 6
 Profondeur de pénétration
 en Fonction de la fréquence
 A: Sol très Sec
 B: Eau douce
 C: Sol moyennement humide
 D: Sol humide
 E: Eau de mer

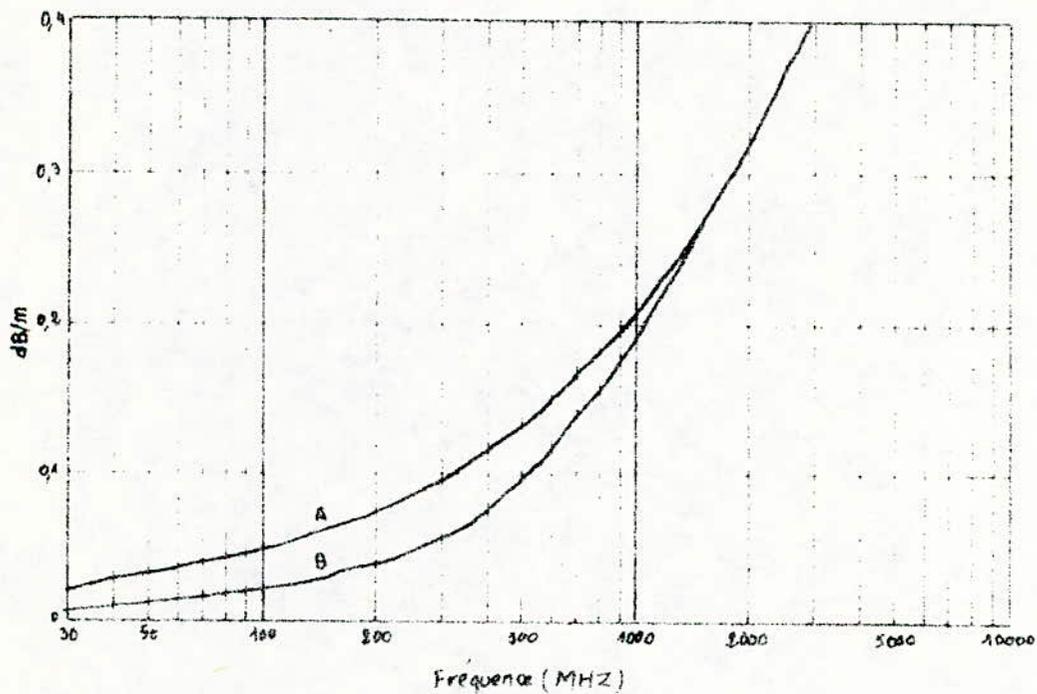


FIGURE 7
 Affaiblissement supplémentaire sur terrain boisé
 Polarisation: A vert. - B horiz

- Teneur en humidité
- Fréquence
- Structure géologique : les constantes dépendent des types de sol, donc on doit connaître la structure de la région.
- Profondeur de pénétration : les couches inférieures influent sur les constantes en fonction de cette pénétration qui dépend elle-même de la fréquence (voir fig.6).
- Absorption d'énergie par ^{la} végétation, les bâtiments et autres objets à la surface du sol : ils participent à l'affaiblissement des ondes plutôt qu'à la variation des constantes (voir fig.7).

N O T A : Les courbes de la fig.4 à 7 ont été obtenues par l'expérience et recommandées par le C.C.I.R. (Comité consultatif International des Radio-Communications)

2) Les abaques de BULLINGTON :

a) Etablissement des Abaques

BULLINGTON a traduit les formules de propagation, particulièrement pour les fréquences élevées ($f > 30$ MHz), en abaques permettant de déterminer le champ en fonction de la distance à l'émetteur et des caractéristiques de rayonnement. Ce travail est doté d'une grande précision dans son domaine de validité.

On a vu dans l'annexe précédent, que le champ en espace libre est inversement proportionnel de la distance à l'émetteur pour une P.A.R donnée

$$E \approx \alpha \frac{\sqrt{P}}{d} \quad (\text{voir annexe 1 formule (3)})$$

L'abaque de la fig.1 donne E en fonction de d

D'autre part la puissance reçue est :

$$P_r = \beta \frac{\lambda^2}{d^2} P$$

(Annexe 1 formule (7) qui est portée sur l'abaque fig.2)

Si les antennes ne sont pas isotropes, alors on fait intervenir le gain des antennes ou leurs surface

(Annexe 1 formule (4) ou (6))

Les abaques sont établies pour un champ dépassé pendant 90% du temps et en 90 % des emplacements. Si on cherche celui pendant 50% du temps, on doit ajouter les corrections suivantes aux valeurs données par les abaques :

bande	I et II	III
Correction	1dB	2 dB

Pour retrouver celui en 50% des emplacements on retranche des valeurs les corrections suivantes :

Bande	I et II	III	IV - V
Villes denses (terrain ondulé)	6 dB	12dB	20 dB
Villes à bât. bas et plaines	3 dB	6 dB	
Campagnes	1 dB	2 dB	

La présence du sol modifie la valeur du champ reçue : à l'onde directe (espace libre), s'ajoutent une onde réfléchie et une onde de surface. Cette dernière sera négligée pour des hauteurs d'antennes supérieures aux hauteurs effectives minimales portées sur la courbe fig. 9 (annexe 2 formule 23)

La puissance reçue au-dessus d'un sol plan est :

$$P_r = \left(\frac{h_1' h_2'}{d^2} \right)^2 G_E G_R P \quad (\text{annexe 2 formule 26})$$

Pour avoir l'affaiblissement L_{eff} de la fig. 10

(annexe 2 formule 26')

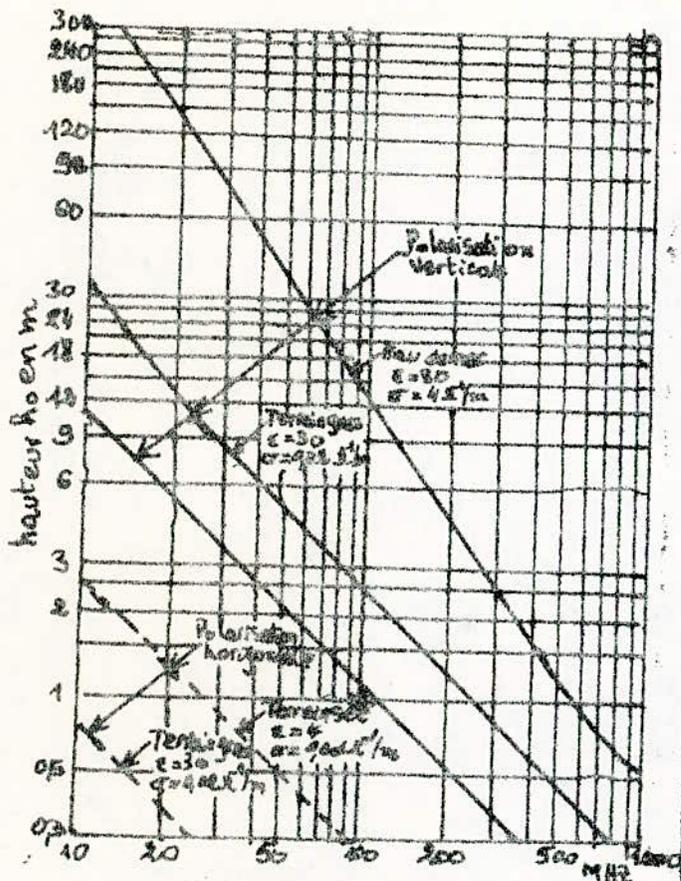


Fig. 8: hauteurs effectives minimales des antennes en fonction de la fréquence d'émission

Ex: Pour des antennes de hauteurs $h_1 = h_2 = 20m$ distantes de $d = 30km$ avec λ (d'émission) = $10cm$, quel est l'affaiblissement dû à la présence du sol? On joint h_1 et h_2 pour avoir 1^{er} pt sur (M), d et (h_1) donne 1^{er} pt sur (N) qu'on joint à λ leur intersection avec L_1 donne l'affaiblissement on lit $L_1 = -3db$...

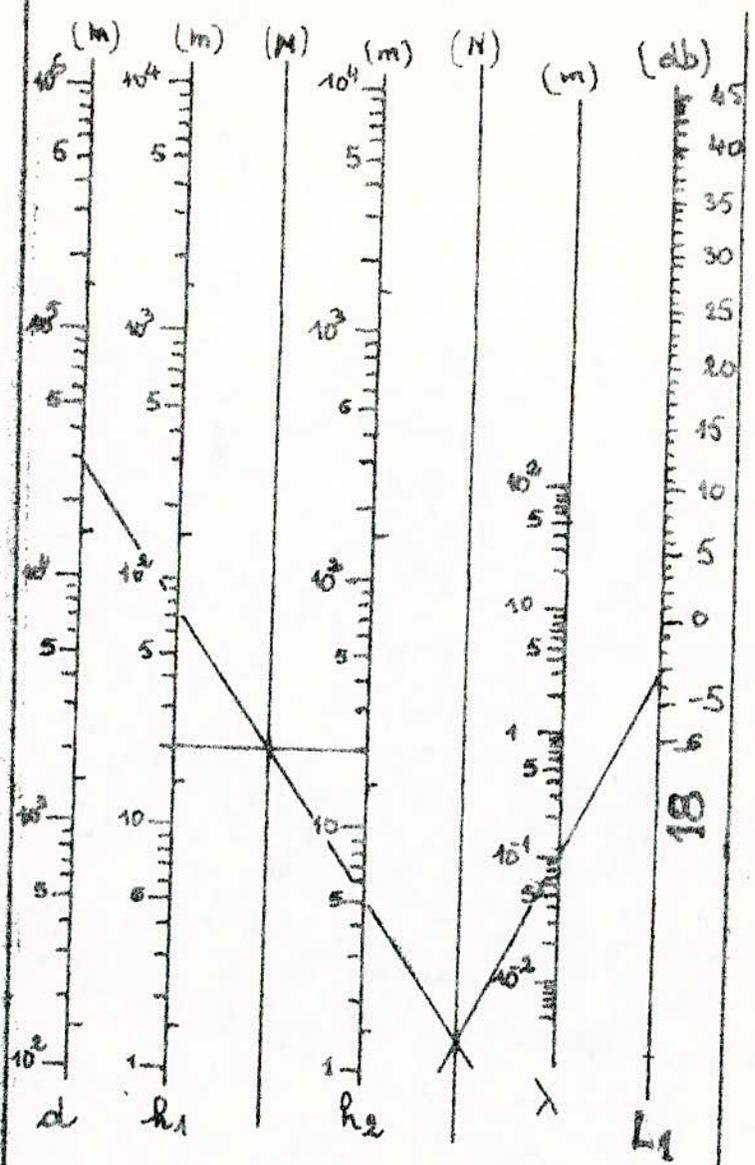
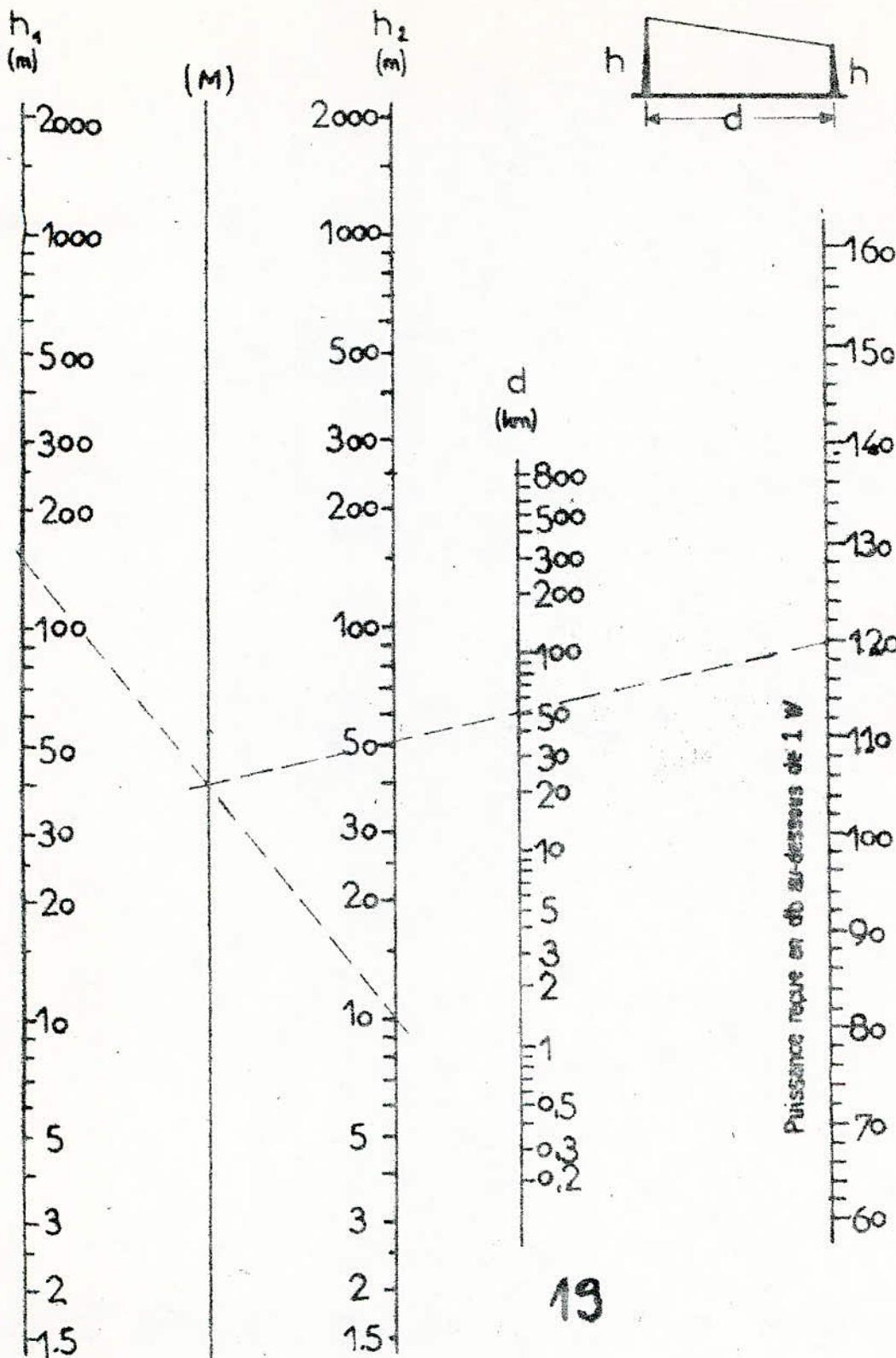


Fig. 9: Affaiblissement de puissance dû à la présence du sol: $L_1 = -20 \log E/E_0$ (pour $\theta = -1$ lorsque $\sin \frac{2\pi R_1 R_2}{\lambda d} \ll 1$)

Fig. 10 : Puissance reçue pour une P.A.R de 1W dans une transmission sur sol plan, les antennes étant des dipôles hz. Pour une P.A.R de N Watts, on ajoute une correction de $10 \log N$



Ex: Soit une antenne de 150m de hauteur avec P.A.R = 250W
 Quelle est la P_r par une antenne de $h_2 = 10$ m à 50km de l'émetteur?
 On joint $h_1 = 150$ m et $h_2 = 10$ m pour obtenir 1 pt sur M
 On joint M à $d = 50$ km jusqu'à l'échelle de P_r . On lit $P_r = 120$ db
 Pour 250W, on a 24db au-dessus de 1W; la P_r sera donc $120 - 24 = 96$ au-dessus de 1W.

L'énergie peut être transmise au-delà de l'horizon par trois méthodes principales : réflexion, réfraction et diffraction.

La courbure de la terre, diffractant les ondes, affecte la propagation. d'un affaiblissement supplémentaire mis sur l'abaque 12. Cette perte, en espace libre, nécessite la connaissance des distances des antennes à l'horizon.

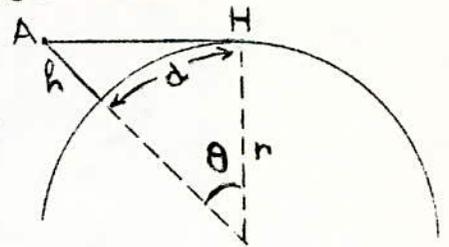
Cette distance, d , est indiquée sur la figure suivante

Puisque $h \ll r$, alors :

$$\Rightarrow \cos \theta = \frac{r}{r+h} = \frac{1}{1+h/r} \approx 1 - \frac{h}{r} \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}$$

$$\Rightarrow \theta = \sqrt{\frac{2h}{r}}$$

et $d = r\theta = \sqrt{2hr}$ (1) portée sur l'abaque 12

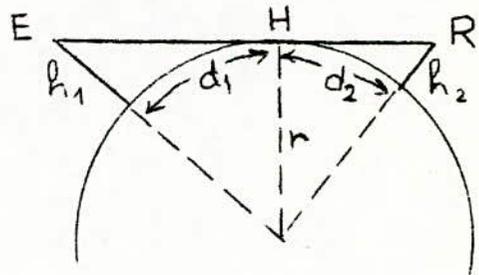


où $r = ka$ $\left\{ \begin{array}{l} k \text{ coefficient de réfraction atmosphérique à rayon réel de} \\ \text{la terre} \end{array} \right.$

Si $k = 4/3$, l'horizon H, ainsi défini est dit

l'horizon radioélectrique du point A.

La hauteur limite h_L est défini comme la hauteur pour laquelle la droite ER est tangente à la terre. (limite de visibilité optique)



donc on a d'après (1)

$$h_L = \alpha d^2 (1')$$

or l'annexe 1 formule (7) donne $d^2 = \beta / f^2$ (7)

$$(1') \text{ et } (7) \Rightarrow h_L = \gamma \frac{1}{f^2}$$

$$\log h_L = C - 2 \log f \quad (\text{abaque 11})$$

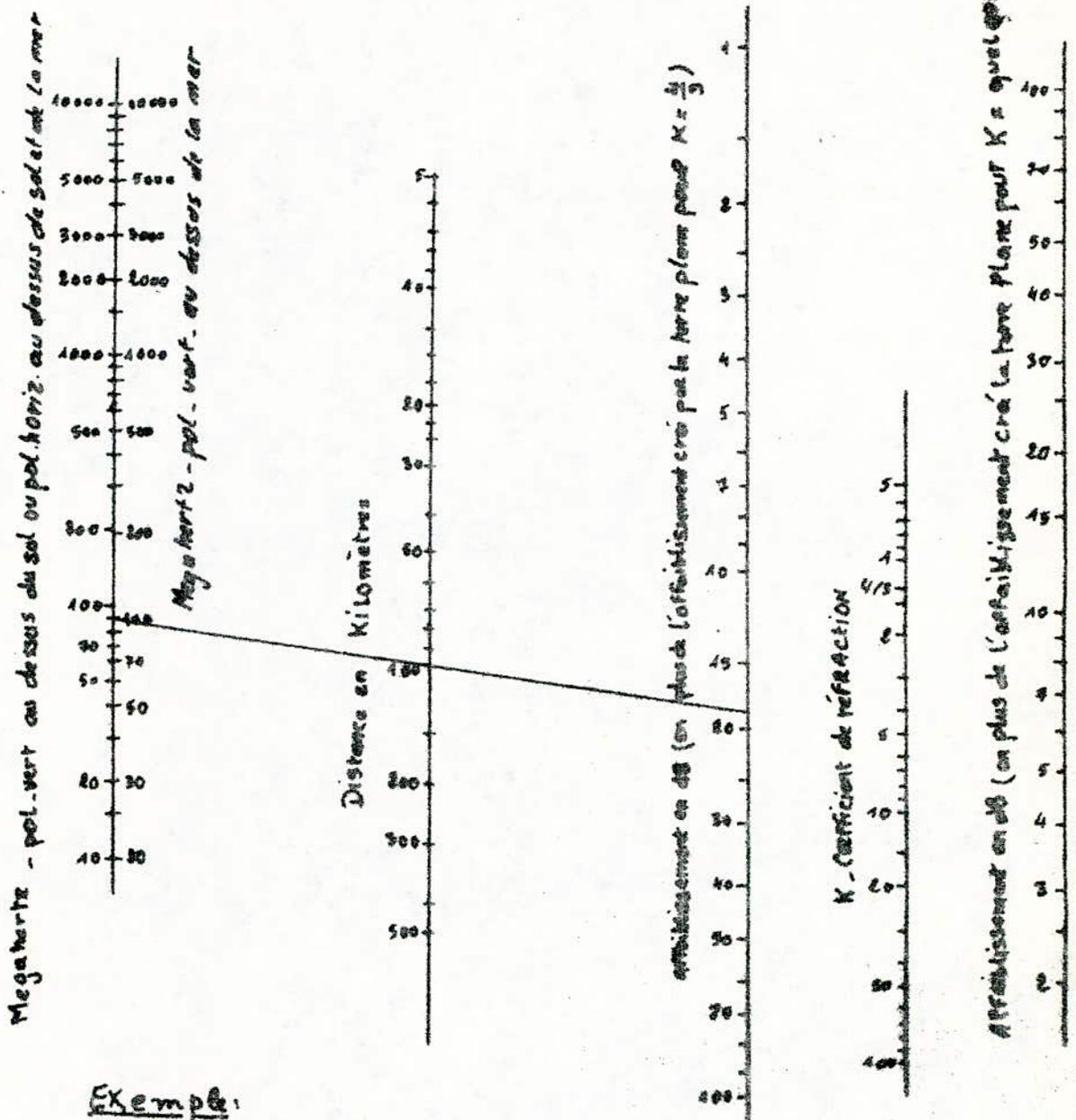
b) Utilisation des Abaques :

Les abaques déjà mentionnés se rapportent chacun à un cas simplifié. Les trajets réels sont plus complexes; on tient compte de la sphéricité de la terre, de la diffraction et de l'affaiblissement en espace libre.

Selon la hauteur des aériens, on distingue deux cas :

- si les hauteurs $< h_L$, une correction due à la sphéricité de la terre (abaque 11 bis) s'ajoute à l'affaiblissement sur terre plane (abaque 10)

Fig. 11bis: Affaiblissement de diffraction
 créé par la sphéricité de la Terre



Exemple:

Pour $h_1 = h_2 = 50$ m et $f = 100$ MHz, la fig. 11 montre que h_1 et h_2 sont inférieures à h_e

Pour avoir l'affaiblissement à $d = 300$ km pour une polar. vert. sur mer avec $k = 4/3$, il suffit de joindre f et d ; on lit 19 dB

- séries moyennement sur-élevés au moins $> h_L$:

L'abaque 12 donne l'affaiblissement L_1 introduit par la **rotondité** de la terre en supplément de l'affaiblissement L en espace libre (abaque 2). L_1 est la somme des trois affaiblissements l_1, l_2, l_3 correspondant à D_1, D_2, D_3 respectivement.

Quand les hauteurs sont surélevées (cas de la zone éclairée), alors

$$D_3 < 0 \Rightarrow l_3 < 0$$

$$L_1 = l_1 + l_2 - |l_3| \text{ est moins précis}$$

Il faut introduire une majoration à l'affaiblissement :

$$10 \log \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \left(1 + \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_3}{D_2} \right) \right] \text{ dB} \quad (2)$$

3) Influence des accidents de terrain : diffraction

a) Introduction :

Dans ^{les} chap. précédents, la surface de la terre a été considérée lisse et homogène, la réalité est autre. La surface réelle n'est pas homogène et épouse la forme du relief réel du terrain, en tenant compte de la végétation et des constructions.

On décrit, d'une manière générale, la façon dont l'irrégularité du terrain affecté les ondes en propagation entre des antennes situées en des emplacements séparés par un terrain accidenté.

Ainsi la transmission peut rencontrer le long de ses trajets des obstacles séparés dont l'importance est dans l'estimation de l'affaiblissement dû à de tels obstacles.

b) Types d'obstacles :

Au delà de l'horizon d'une antenne d'émission, les champs proviennent de diffraction sur des crêtes, et des collines. Un cas extrême est celui d'une diffraction sur des obstacles élevés est tellement isolés que la théorie de la diffraction sur une lame de "couteau" fournit des résultats concordant avec les observations.

L'autre cas extrême est celui d'une diffraction sur une terre sphérique régulière (obstacle arrondi).

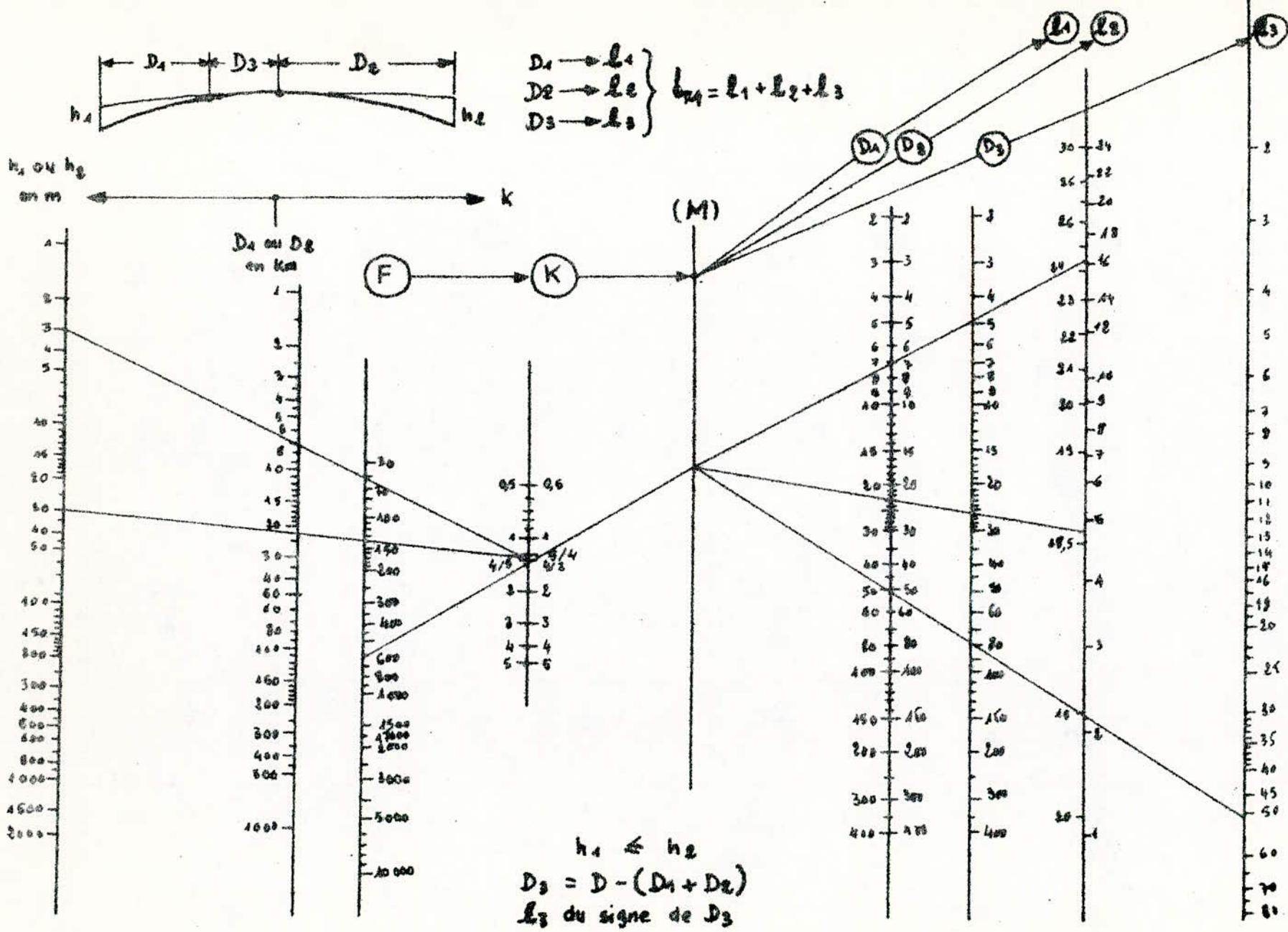
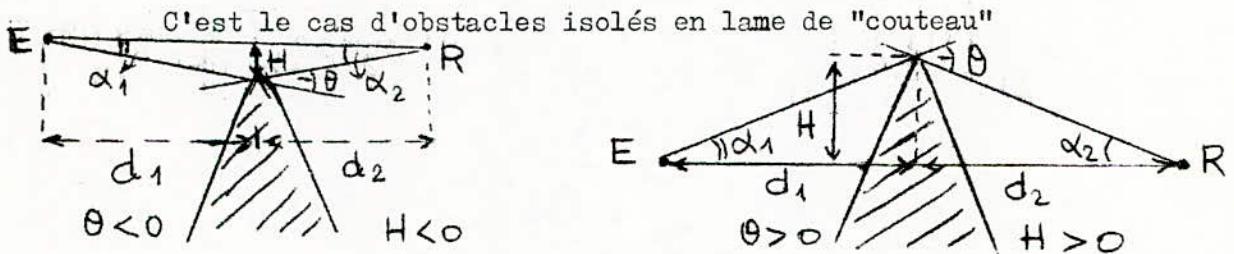


Fig. 12: AFFAIBLISSEMENT DE ROTONDITE

Des méthodes théorique idéalisent les particularités du terrain . Mais, il est extrêmement difficile de tenir compte de l'irrégularité et des accidents du terrain, sauf par un "facteur de terrain". Ce dernier est déterminé empiriquement sous forme d'une fonction de paramètres reliant λ et la géométrie. Il faut tenir compte de la réfraction pour évaluer ces paramètres dans le plan vertical de la liaison .

Pour le calcul, on idéalise ces obstacles soit à une crête d'épaisseur négligeable, soit à une arête lisse et épaisse.

* Obstacles diffringents aigus :



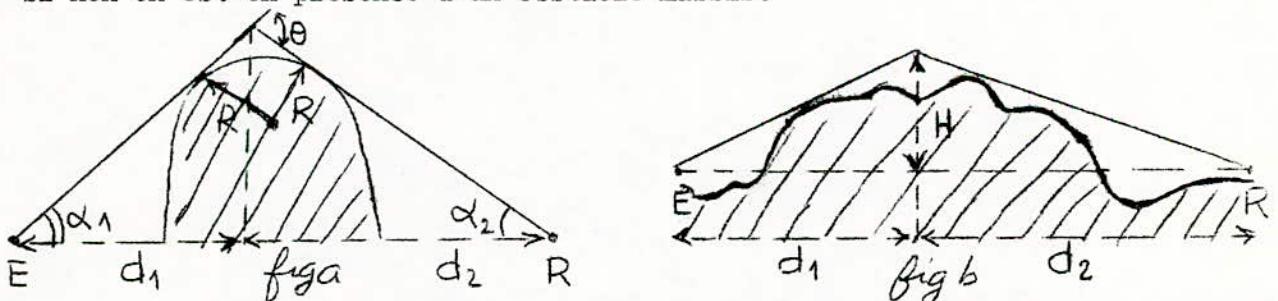
H : hauteur du sommet de l'arête au-dessus de la droite ER . Si le sommet est au-dessous de ER , $H < 0$

$d_1 + d_2 = d$ est la longueur de la liaison, θ est l'angle de diffraction en radians de même ^{signe} que H (θ est supposé $< 12^\circ$)

L'affaiblissement L_m par diffraction apporté par la présence de l'arête est portée sur l'abaque 13

* Obstacles arrondis :

Ces obstacles se distinguent par le rayon R de courbure de leur sommet : si R est important alors le cas est dit sphérique (cas non rencontré), si non on est en présence d'un obstacle massif.



Le cas de la fig b (à flanc raide) est le plus fréquent, l'affaiblissement L_m qui en résulte est obtenu par l'abaque 14.

Puisque la terre n'est pas uniformément sphérique on détermine la diffraction par les obstacles assimilés à une arête vive.

Si on néglige la présence du sol de part et d'autre de l'obstacle, l'abaque 13 donne les pertes par diffraction en fonction de la hauteur de l'arête et de la distance de l'écran à l'antenne d'émission, ailleurs la propagation est en espace libre.

EXEMPLES

Fig. 12: Soient deux antennes de hauteurs $h_1 = 3\text{ m}$ et $h_2 = 30\text{ m}$ distantes de $d = 140\text{ km}$ avec f (d'émission) = 600 MHz , quel est l'affaiblissement L_A de rondeur?

h_1 donne distance à l'horizon $D_1 = 7\text{ km}$ et h_2 donne $D_2 = 23\text{ km}$ en joignant dans les cas k à $k = 4/3$

$$D_3 = d - (D_1 + D_2) = 80\text{ km}$$

On joint $f = 600\text{ MHz}$ et $k = 4/3$ pour avoir 1 pt sur (M)

Ce dernier est joint respectivement à D_1, D_2 et D_3 pour obtenir

$$L_1 = 24,5\text{ db}, L_2 = 4,8\text{ db}, L_3 = 52\text{ db}$$

$$L_A = L_1 + L_2 + L_3 = 81,3\text{ db}$$

Fig. 13: À $d_1 = 30\text{ km}$ de l'émetteur se dresse un obstacle aigu de $H = 100\text{ m}$ pour une fréquence $f = 600\text{ MHz}$ (d'émission), quelle est la perte due à un tel obstacle?

On joint $d_1 = 30\text{ km}$ et $H = 100\text{ m}$ pour avoir 1 pt sur (M) qui joint à $f = 600\text{ MHz}$ donne cette perte On lit 16 db sur l'échelle des pertes

Fig. 14: Sous les mêmes conditions quelle serait cette perte si l'obstacle est considéré comme massif?

On joint $d_1 = 30\text{ km}$ et $H = 100\text{ m}$, on a 1 pt sur (M) qui joint à $f = 600\text{ MHz}$ donne un point sur l'échelle des pertes. On lit 10 db

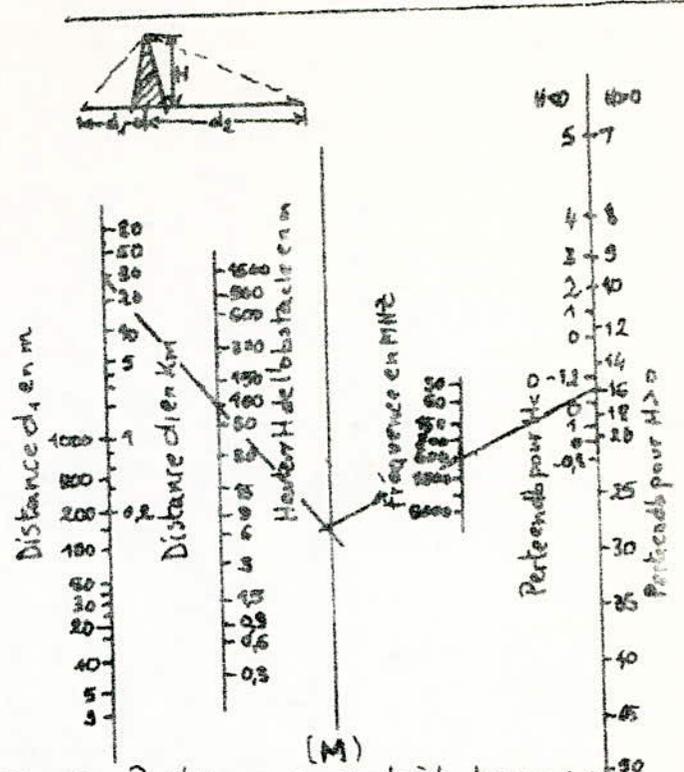


Fig. 13: Perte, par rapport à la transmission dans l'espace libre, due à un obstacle diffringent aigu. H est compté positif si l'obstacle est au-dessus de la droite joignant les antennes

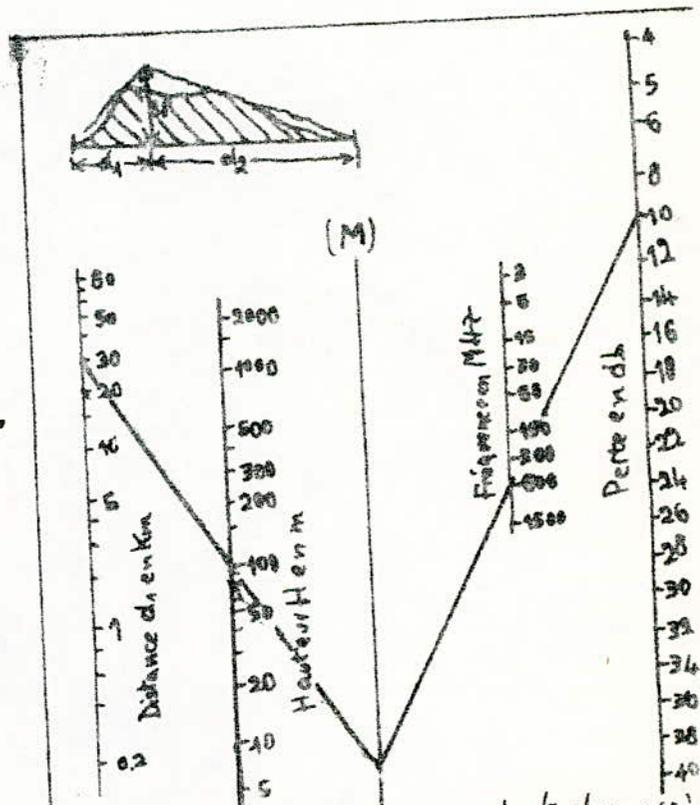


Fig. 14: Perte due à un obstacle massif par rapport à la transmission sur une terre régulière

Dans le cas contraire, la propagation est complexe et l'abaque 14 donne la perte lorsque les hauteurs d'antennes sont supérieures à la hauteur effective minimale.

c) Trajets types de propagation

Les trajets réels sont traités comme une succession de crêtes assimilables à des lames de couteau ou à des cylindres selon la courbure plus ou moins grande des crêtes.

Ce qui nécessite le tracé du profil de la liaison avec le rayon équivalent convenable (souvent $\frac{4}{3}$ du rayon réel terrestre). Selon le profil altimétrique entre le point d'émission et celui de réception, On envisage la classification suivante :

* En visibilité directe (fig.15)

Pour chacun des cas des trajets schématisés, on construit la droite de la façon indiquée sur le croquis et on détermine l'affaiblissement à l'aide de l'abaque 10, où h_1 et h_2 sont prises égales à AC et BD

* Obstacles dans la ligne de visibilité (fig.16)

Pour le 1er cas on détermine l'affaiblissement en l'absence d'obstacle avec l'abaque 2. On ajoute les pertes de diffraction déterminées avec l'abaque 13 où d_1 et H sont pris égaux respectivement à d et h.

Pour les quatres (4) derniers cas, on détermine à l'aide de l'abaque 10 l'affaiblissement sur terre plane unie, les hauteurs sont prises égales à AC et BD .

On tient compte ensuite des pertes dues à l'obstacle à l'aide de l'abaque 14 où d_2 et H sont pris égaux respectivement à d et h.

* Trajets non optiques (fig.17)

On calcule l'affaiblissement en espace libre à l'aide de l'abaque 2. On dessinera le profil dans des axes rectangulaires, on trace la droite C E D et on détermine l'affaiblissement sur sol plan avec l'abaque 10, celui dû à la rotondité de la terre par l'abaque 12. On ajoute ensuite les pertes dues à l'obstacle par l'abaque 14.

Ces graphiques nécessitent la détermination de la 1ère zone de Fresnel.

Les prévisions du champ pour ces cas sont obtenues par une combinaison dépendant du profil rencontré, des valeurs données par la théorie de propagation sur une terre sphérique lisse et de celles données par la théorie de la diffraction sur des crêtes aigues.

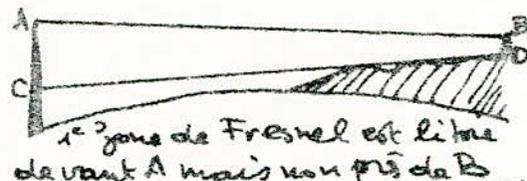
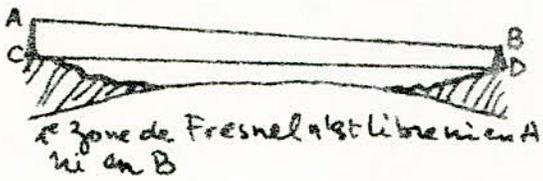
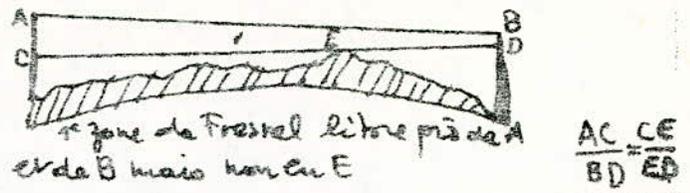
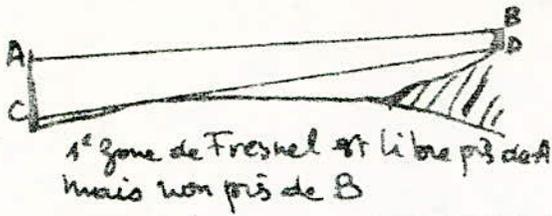
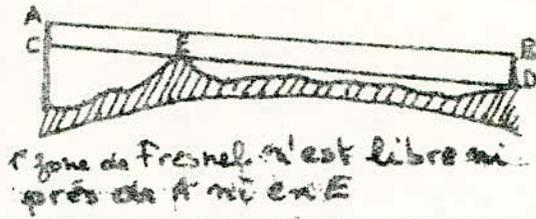
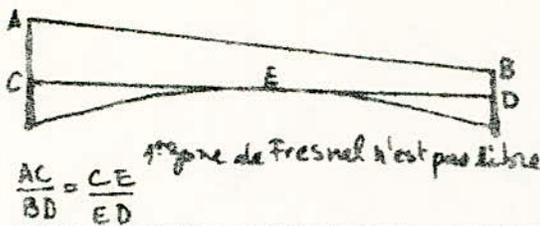


Fig. 15. Trajets types de propagation en visibilité directe

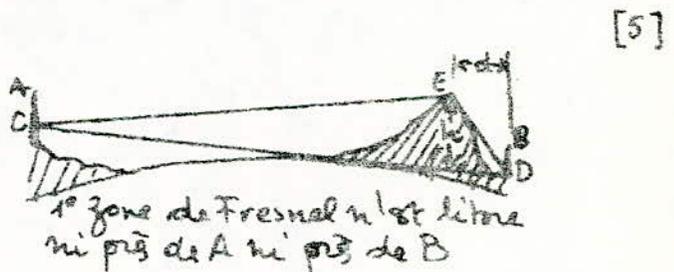
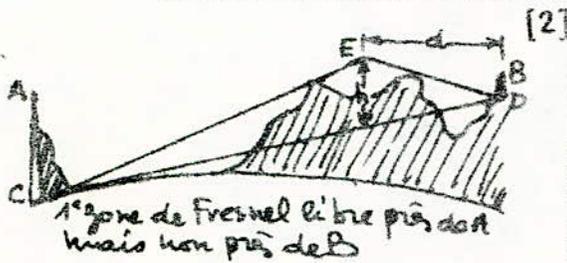
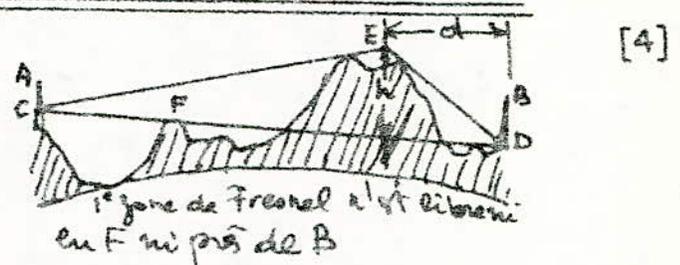
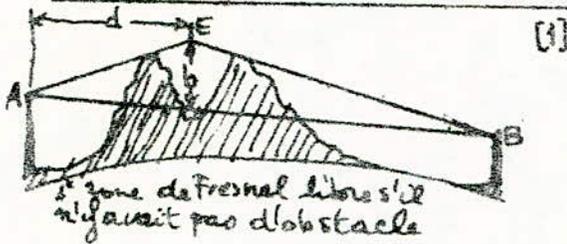


Fig. 16. Trajets Types de propagation avec obstacle dans la ligne de visibilité

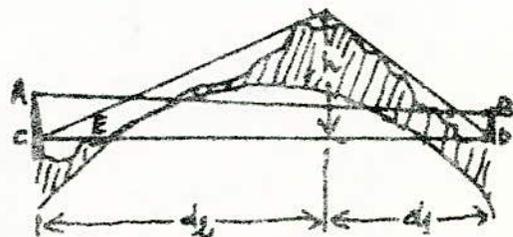
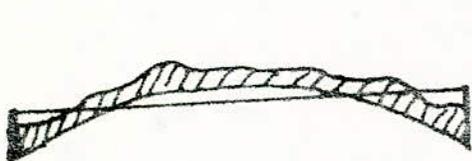


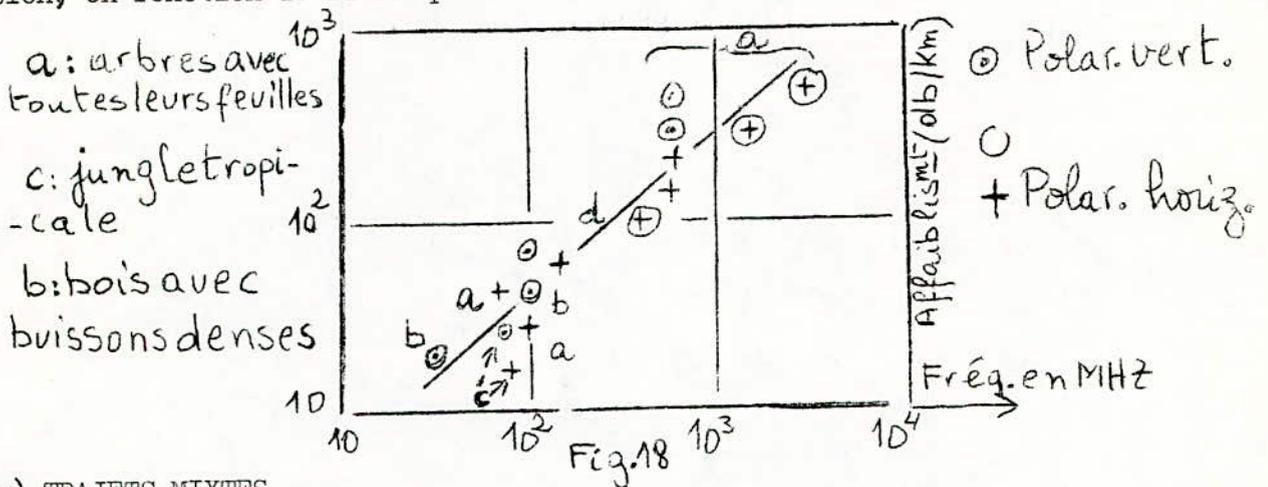
Fig. 17. Trajets types de propagation non optique

d) CONSTRUCTIONS ET VEGETATION

Pour des liaisons aux fréquences inférieures à quelques MHz, les ondes subissent un affaiblissement négligeable par les bâtiments.

L'absorption d'énergie est importante pour des fréquences supérieures à des milliers de MHz (10 à 40 dB pour 3000 MHz).

Tandis que pour la végétation, cette affaiblissement est notable au-delà de 100 MHz, pour laquelle l'arbre isolé, situé à quelques centaines de mètres de l'antenne, est sans influence, les zones de forêt devant être considérées comme des accidents de terrain. Par ailleurs, les résultats statistiques ont donné la courbe fig. 18 donnant l'affaiblissement, dû à la végétation, en fonction de la fréquence.

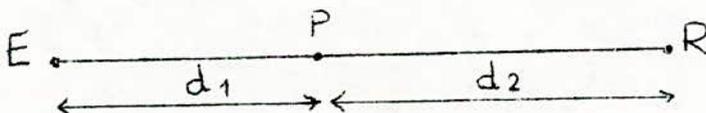


e) TRAJETS MIXTES

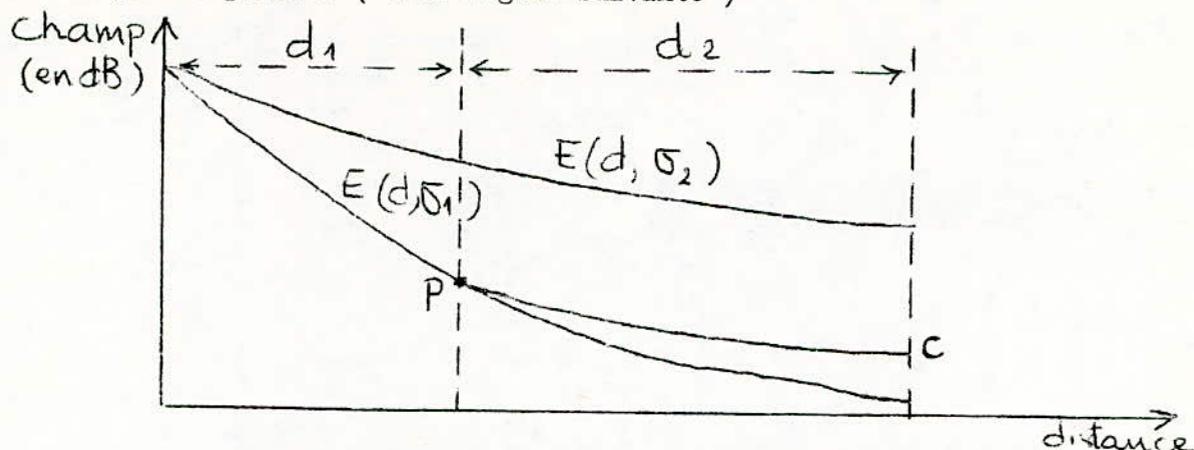
Jusqu'à présent les caractéristiques ϵ et σ étaient supposées constantes le long d'un trajet (la nature du sol était la même). C'est une simplification et la plupart du temps la nature du sol pourra changer : sols plus ou moins secs, plus ou moins cultivés ou même des parties de trajet sur terre et d'autres sur mer (trajets mixtes). Ce dernier cas intéresse surtout les services côtiers.

Un des cas les plus intéressants est celui où une onde effectue son trajet sur deux milieux différents : elle parcourt un trajet d_1 sur un sol de conductivité σ_1 pour passer à un autre sol de conductivité σ_2 en effectuant un nouveau trajet d_2 .

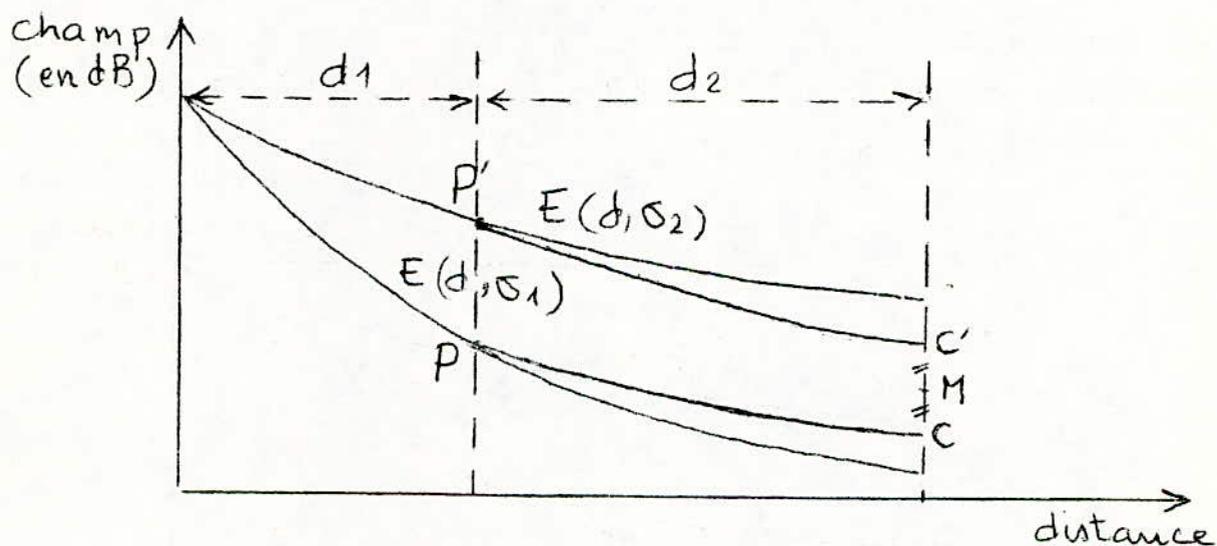
La loi de propagation du champ étant difficile à déterminer, on combine les lois d'affaiblissement connues $E(d, \sigma)$ pour les deux parties du trajet.



Une 1ère approximation (méthode d'ECKERSLEY) est l'utilisation de la courbe $E(d, \sigma_1)$ puis celle de $E(d, \sigma_2)$ en déplaçant la seconde verticalement pour la raccorder à la première au point P ($d = d_1$). On obtient l'affaiblissement par le point c (voir figure suivante)



La deuxième approximation (méthode de MILLINGTON) s'appuie sur le principe de la réciprocité (E vers R et R vers E) pour employer la méthode précédente deux fois et prendre ensuite la moyenne géométrique des résultats : l'affaiblissement est donné par le point M milieu du segment cc' (figure suivante)



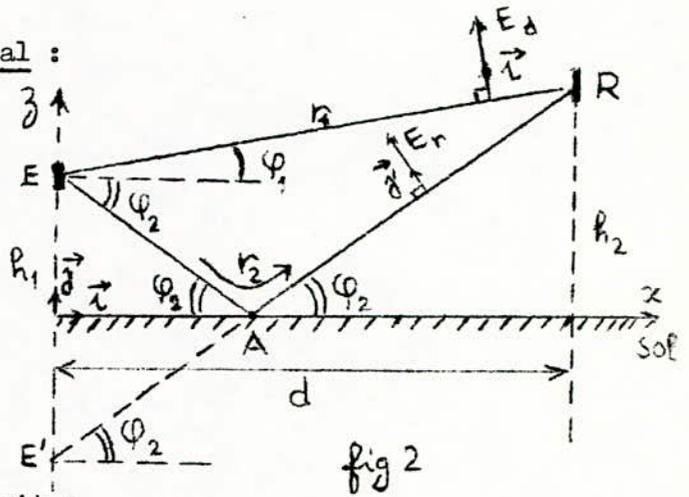
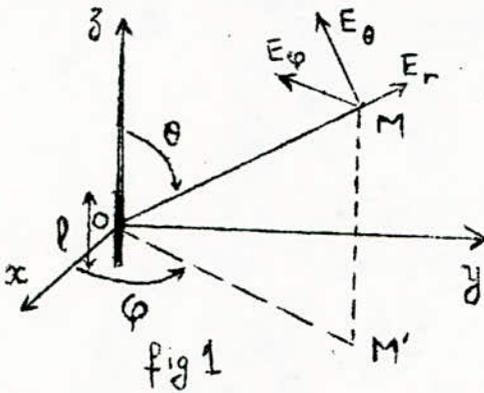
Cette 2ème méthode donne des résultats en accord avec l'expérience.

I - Terre plane et "unie" : Onde d'espace

On se place dans le cas de la propagation des ondes où l'approximation de l'optique géométrique est valable.

Ainsi le champ obtenu est la résultante d'une onde directe et d'une onde réfléchi, dit l'onde de l'espace .

- Champ rayonné par un doublet vertical :



a) D'après le calcul d'antennes on avait :

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_r &= 0 \\ \mathcal{E}_\theta &= \frac{60\pi I l e^{jk_0 r}}{\lambda_0 \pi} \sin\theta \quad (1) \\ \mathcal{E}_\phi &= 0 \end{aligned}$$

En posant $\mathcal{E}_0 = \frac{60\pi I l}{\lambda_0}$ et comme $\theta = \varphi + \frac{\pi}{2}$ on aura :

$$\mathcal{E}_d = \frac{\mathcal{E}_0}{\pi_1} \cos\varphi_1 e^{jk_0 r_1} \text{ champ direct (2)}$$

$$\mathcal{E}_r = \rho_v \frac{\mathcal{E}_0}{\pi_2} \cos\varphi_2 e^{jk_0 r_2} \text{ (champ réfléchi (3))}$$

ρ_v coefficient de réflexion complexe du sol au point A. A la réception, seules les composantes verticales agissent, le champ résultant est :

$$\mathcal{E}^v = \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_r = \frac{\mathcal{E}_0}{\pi_1} \cos\varphi_1 e^{jk_0 r_1} + \frac{\mathcal{E}_0}{\pi_2} \rho_v \cos\varphi_2 e^{jk_0 r_2} \quad (4)$$

Comme $d = r_1 \cos\varphi_1 = r_2 \cos\varphi_2$ (5)

$$\mathcal{E}^v = \frac{\mathcal{E}_0}{d} (\cos^3\varphi_1 e^{jk_0 r_1} + \rho_v \cos^3\varphi_2 e^{jk_0 r_2}) \quad (6)$$

Si les directions des rayons directs et réfléchis sont voisines

$$(\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 \approx 1), \text{ avec } \mathcal{E}_0 = \frac{E_0}{d} e^{jk_0 r_1}$$

et $\Delta = k_0 \delta$, δ différence de trajets, on a :

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 (1 + R_v e^{j\Delta}) \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= d^2 + (h_2 - h_1)^2 \quad (8) \\ r_2^2 &= d^2 + (h_2 + h_1)^2 \quad (8) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \delta = r_2 - r_1 = \frac{2h_1 h_2}{d} \quad (9)$$

$$\Delta = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda_0 d} \quad (\text{car } k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}) \quad (10)$$

b) Dans le cas où $R = -1$, l'amplitude du champ est donnée par :

$$|\mathcal{E}| = E = 2E_0 \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda_0 d} \quad (11)$$

* L'affaiblissement du à la présence du sol est :

$\frac{E}{E_0}$ qui donne l'affaiblissement de puissance

$$L_1 = -20 \log \frac{E}{E_0} \quad (\text{abaque fig.9}) \quad (12)$$

* Le plus souvent $\psi = \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda_0 d}$ est faible alors :

$$\frac{E}{E_0} \approx \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda_0 d} \quad (13) \quad (\sin \psi \approx \psi)$$

En général la puissance est reliée au champ par :

donc
$$P = \frac{E^2}{120\pi}$$

$$\frac{P_r}{P_{r0}} = \left(\frac{E}{E_0}\right)^2 = \left(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda_0 d}\right)^2 \quad (14)$$

Mais d'après l'équation des télécommunications on a :

$$P_{r0} = \frac{P_e \cdot G_e \cdot G_r \cdot \lambda_0^2}{16\pi^2 d^2} \quad (15)$$

alors

$$\frac{P_r}{P_e} = \left(\frac{h_1 h_2}{d}\right)^2 G_e G_r \quad (16)$$

Pour des sources isotropes ($G_e = G_r = 1$) on a :

$$L_1 + L_2 = -10 \log \frac{P_r}{P_e} \quad (\text{abaque 10}) \quad (17)$$

$$\text{car } 10 \log \frac{P_r}{P_e} = 10 \log \frac{P_r}{P_{r0}} + 10 \log \frac{P_{r0}}{P_e} = -(L_1 + L_2)$$

II Terre plane non "polie" : Onde de surface et de sol

Pour ce cas, l'approximation de l'optique géométrique n'est plus valide, on recourt donc aux ondes sphériques avec leur complexité.

Des méthodes d'approche ont été faites pour faciliter l'étude de ce phénomène, on se contente des formules de Norton simplifiées par Bullington pour aboutir à la détermination de l'affaiblissement par une seule abaque.

a) Formules de Norton :

Avec les mêmes conventions que précédemment (fig.2) la composante verticale du champ à la réception est donnée par la formule :

$$E^V = E_0 \left[\frac{e^{jk_0 r_1}}{r_1} \cos^2 \varphi_1 + \frac{Rv e^{jk_0 r_2}}{r_2} \cos^2 \varphi_2 + (1-Rv) W \frac{e^{jk_0 r_2}}{r_2} \right] \quad (18)$$

Où $W = 1 - 2\sqrt{V} e^{-V} \int_{j\infty}^{\sqrt{V}} e^{x^2} dx$

avec $V = \frac{4\rho}{(1-Rv)^2}$

et $\rho = \frac{jk_0 r_2}{2} \frac{\epsilon_1' - \cos^2 \varphi_2}{\epsilon_1''}$

W représente l'affaiblissement supplémentaire - dit de Sommerfeld - dû à la conductivité de la terre (grand)

ρ est la distance numérique sans dimensions .

Le champ totale est un vecteur de forme :

$$\vec{E} = E^V \vec{j} + E^H \vec{i}$$

ou encore :

$$\vec{E} = E_{surf} \vec{e}_{surf} + E_{esp} \vec{e}_{esp} \quad (19)$$

D'après le chapitre précédent on avait :

$$E_{esp} = E_d' \vec{i}' + E_r' \vec{j}'$$

d'autre part

$$E_{surf} = E_{surf}^H \vec{i} + E_{surf}^V \vec{j}$$

En prenant les composantes verticales, on obtient :

$$E^V = E_{surf}^V + E_{esp}^V \quad (20)$$

Comme
$$\mathcal{E}_{\text{esp}}^V = E_0 \left(\frac{e^{jk_0 h_1}}{\pi_1} \cos^2 \varphi_1 + R_V \frac{e^{jk_0 h_2}}{\pi_2} \cos^2 \varphi_2 \right)$$

donc
$$\mathcal{E}_{\text{surf}}^V = \mathcal{E}^V - \mathcal{E}_{\text{esp}}^V = E_0 (1 - R_V) W \frac{e^{jk_0 h_2}}{\pi_2}$$

alors
$$\mathcal{E}_{\text{surf}}^V = \frac{E_0}{d} (1 - R_V) W \cos \varphi_2 e^{jk_0 h_2} \quad (21)$$

L'Onde de surface représente la correction à apporter, à l'optique géométrique. Pour des surélévations faibles (à la surface), $\mathcal{E}_{\text{surf}}$ est prépondérant devant \mathcal{E}_{esp} , et inversement pour le cas contraire (h_1 et h_2 élevées)

b) Simplifications de Bullington :

Partant de la formule (18), en posant

$$\mathcal{E}_L = \frac{E_0}{d} e^{jk_0 h_1} \quad (\text{champ en espace libre})$$

On obtient

$$\mathcal{E}^V = \mathcal{E}_L \left(1 + R_V e^{j\Delta} + (1 - R_V) W e^{j\Delta} \right) \quad (22)$$

directe ← | → réfléchi | → onde de surface

Dans le cas où les angles sont petits (φ_1 et φ_2)

alors $R_V \approx -1$ et on aura

$$\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_L} \approx 1 - e^{j\Delta} + 2W e^{j\Delta}$$

Puisque

$$1 - e^{j\Delta} = 1 - \cos \Delta - j \sin \Delta = -2j \sin \frac{\Delta}{2} \left(\cos \frac{\Delta}{2} + j \sin \frac{\Delta}{2} \right)$$

$$\left| \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_L} \right| = \left| \frac{1}{j} e^{j\frac{\Delta}{2}} (2 \sin \frac{\Delta}{2} + 2j W e^{j\frac{\Delta}{2}}) \right| = 2 \left| \sin \frac{\Delta}{2} + j W e^{j\frac{\Delta}{2}} \right|$$

$$\psi = \Delta/2 \text{ étant petit} \Rightarrow \sin \psi = \psi$$

$$\text{et } e^{j\Delta/2} \approx 1$$

$$\text{on } V = \frac{4e}{(1 - R_V)^2} \approx e \text{ et } W = -\frac{1}{2d} \text{ (pour } e \text{ grand)}$$

$$\Rightarrow \left| \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_L} \right| = 2 \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda_0 d} - \frac{\lambda_0}{2\pi d z^2} \right)$$

$$\text{avec } z = \frac{\sqrt{\epsilon' \pi - 1}}{\epsilon''}$$

En posant $h_0 = \frac{\lambda_0}{2\pi z}$: (hauteur effective minimum) (23)

La hauteur h_0 est portée à l'abaque fig.8

On aura : $X = (h_1 + j h_0)(h_2 + j h_0) = h'_1 h'_2$ (24)

d'où

$$|X| = \left| \left(h_1 + j \frac{\lambda_0}{2\pi z} \right) \left(h_2 + j \frac{\lambda_0}{2\pi z} \right) \right|$$

ainsi

$$\frac{4\pi |X|}{\lambda_0 d} = \left| 2 \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda_0 d} - \frac{\lambda_0}{2\pi d z^2} \right) + j \frac{2(h_1 + h_2)}{d z} \right|$$

le terme $\frac{2(h_1 + h_2)}{d z}$ influe peu sur le module

alors $\left| \frac{E_r}{E_e} \right| = \frac{4\pi |h'_1 h'_2|}{\lambda_0 d}$ (25)

On doit identifier h'_1 (ou h'_2) à la plus grande des hauteurs réelles h_1 (ou h_2), ou effective minimum h_0 .

De la même manière, de cette formule on établit (des formules (14) à (16) la formule :

$$P_r/P_e = \left(\frac{h'_1 h'_2}{d^2} \right)^2 G_e G_r \quad (26)$$

On obtient alors l'affaiblissement entre sources isotropes par le diagramme de la fig.10 qui est utilisable sous réserve de remplacer h_1 et h_2 par h'_1 et h'_2 (les remplacer par h_0 si h_1 ou $h_2 < h_0$) : $L_p + L_1 = -10 \log P_r/P_e$ (26')

En conclusion, l'influence du sol sur la propagation est d'engendrer, en plus de l'onde directe, une onde réfléchie (réfléchie et directe = espace), et une onde de surface importante pour des aériens à la surface du sol.

L'ensemble de l'onde d'espace et celle de surface constitue l'onde de sol.

4) PREVISION DU CHAMP AU MOYEN DE COURBES DE PROPAGATION EMPIRIQUES :

a) Utilisation des abaques :

Après avoir tracé les coupes de terrain, on détermine la hauteur équivalente h_1 et le facteur d'irrégularité Δh comme suit :

- h_1 = différence entre l'altitude moyenne du terrain (entre 3 et 15 Km de l'émetteur) et celle du point milieu de l'antenne.

- Δh = différence entre les altitudes dépassés sur 10% et 90% du trajet de propagation dans la zone comprise entre les points situés à 10 et à 50 Km de l'émetteur. Si l'irrégularité du terrain varie d'une façon appréciable, Δh est évalué pour des distances ≤ 15 Km. Connaissant h_1 et Δh , on obtient le champ en divers points de réception, suivant les directions que l'on s'est fixées, à l'aide d'abaques (fig. 19 et 20) facilitant l'utilisation des courbes de propagation publiés par le C C I R.

Les abaques ont été établis pour un dipôle demi-onde rayonnant une P.A.R de 1 KW donnant ^{le} champ reçu (en dB/ $1 \mu\text{V/m}$) à 10m de hauteur au dessus du sol pour différentes hauteurs d'antenne d'émission.

Cette méthode, quasi-universelle, n'est applicable que pour les terrains plats.

b) Corrections semi-empiriques :

Pour remédier à l'application de la méthode précédente, on introduit des facteurs de correction semi-empiriques donnés par des graphiques (fig. 21 a, b, c) .

Ces corrections utilisent la valeur médiane du champ calculé par les abaques (19 et 20) .

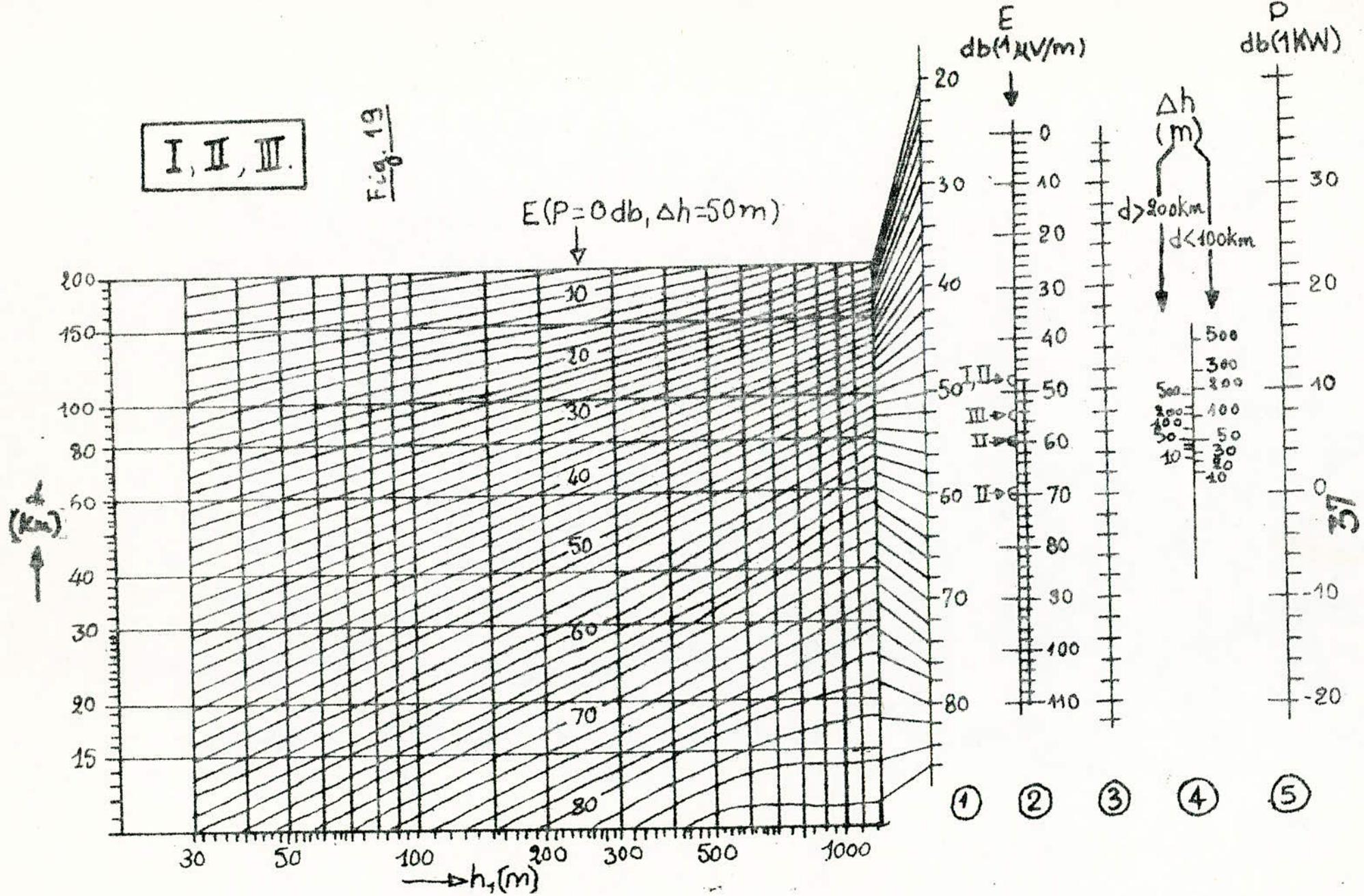
Les résultats de mesures effectuées confortées aux considérations théoriques ont donnés les coefficients de corrections pour U.H.F, valables pour la V.H.F à condition de multiplier par $3/4$ les valeurs utilisées en U.H.F.

Une fois, la valeur médiane du champ est obtenue, on procède de la manière suivante .

!) On corrige cette valeur à l'aide de la fig. 21 a pour un terrain présentant une pente générale par rapport au niveau de la mer (sur une longueur ≥ 10 Km).

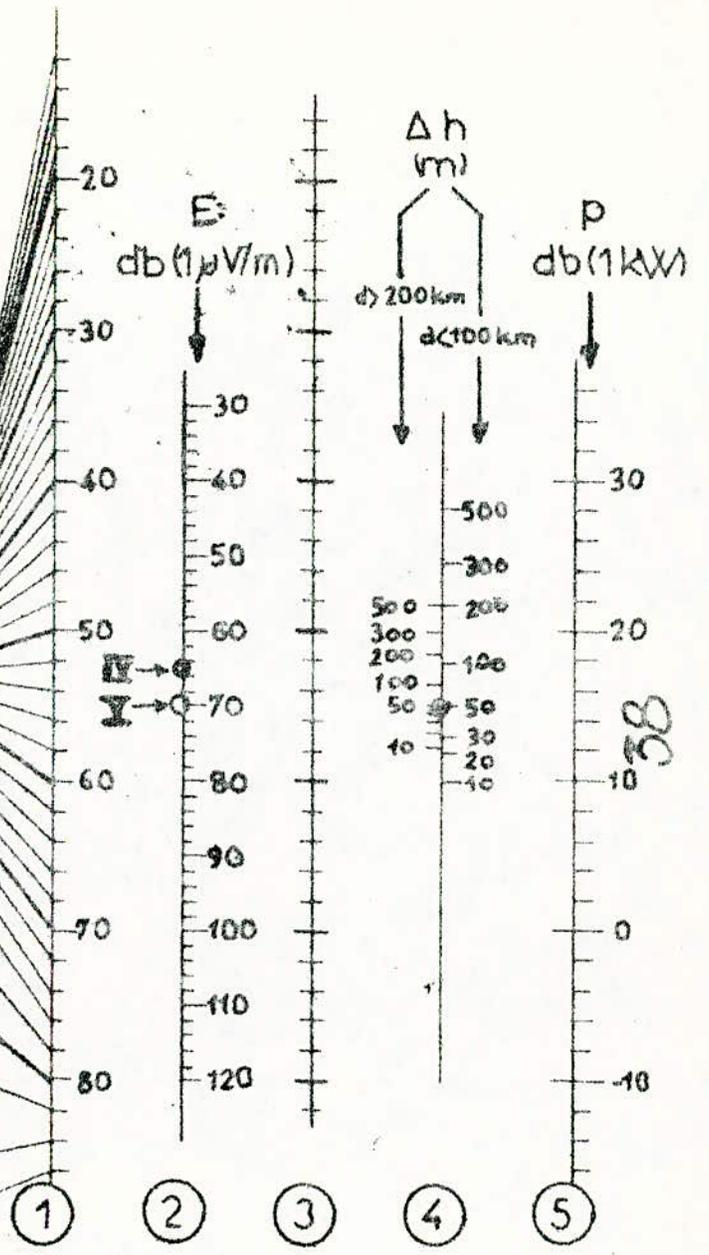
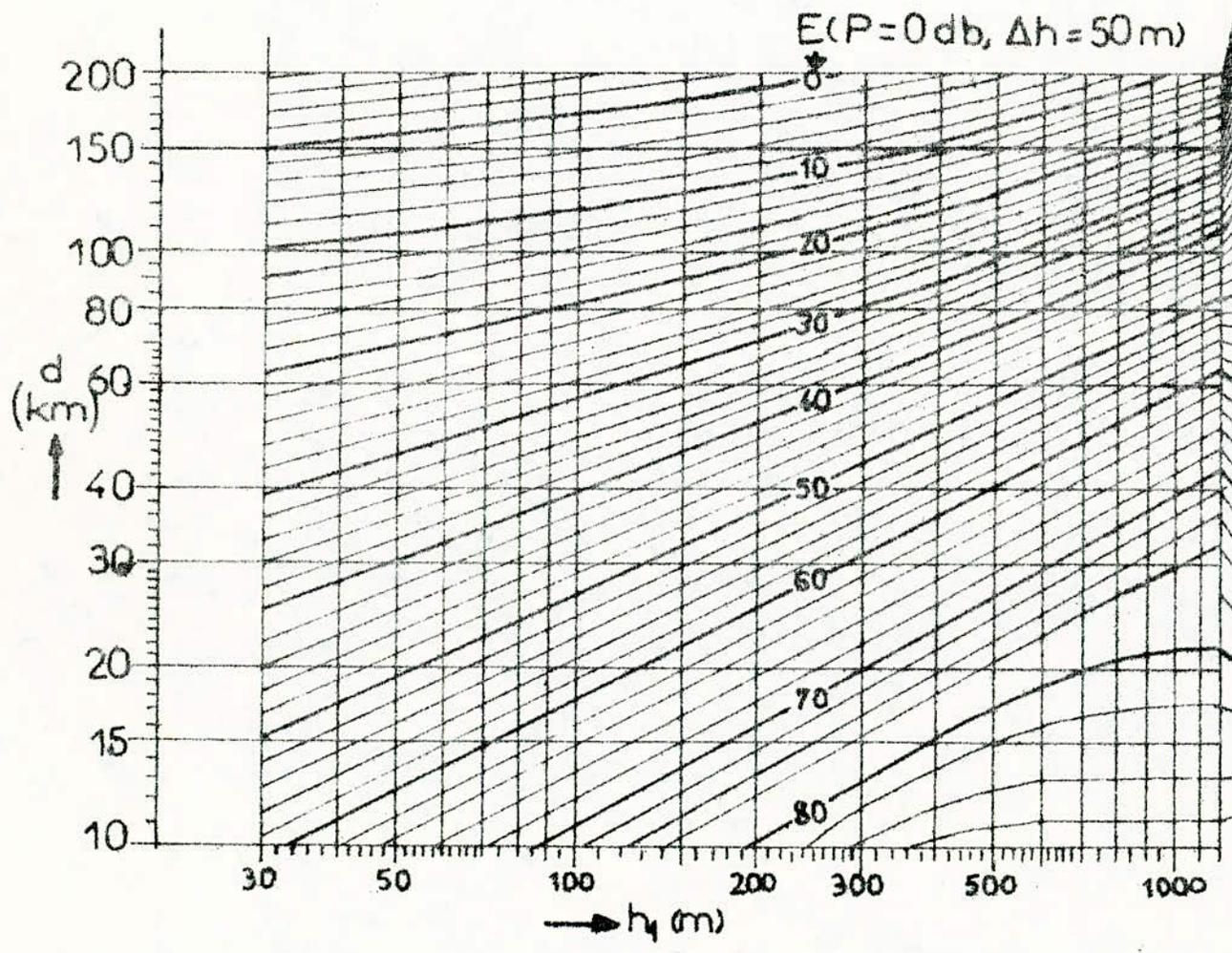
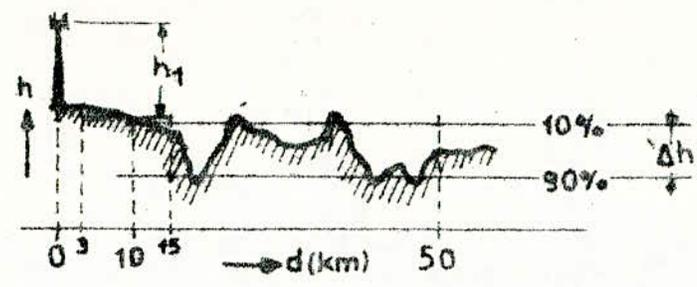
I, II, III.

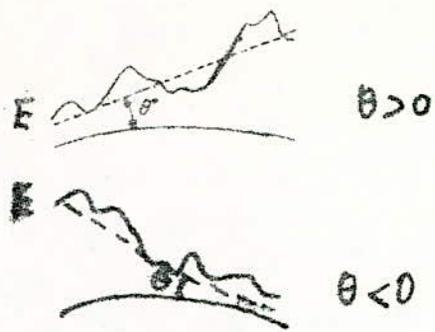
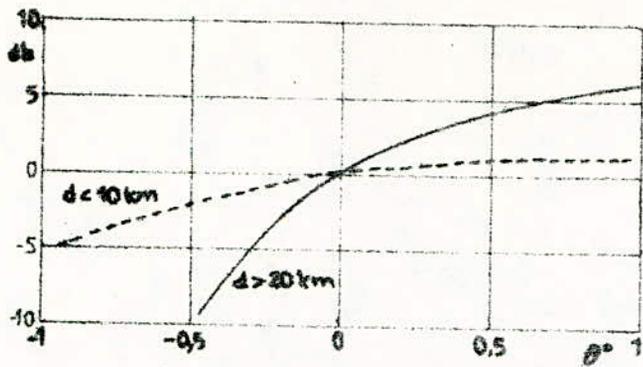
Fig. 19



IV, V

Fig. 20





(a) Courbe de correction du champ médian en Bande D/F, en fonction de la pente du terrain par rapport au niveau de la mer; d est la distance à l'émetteur.

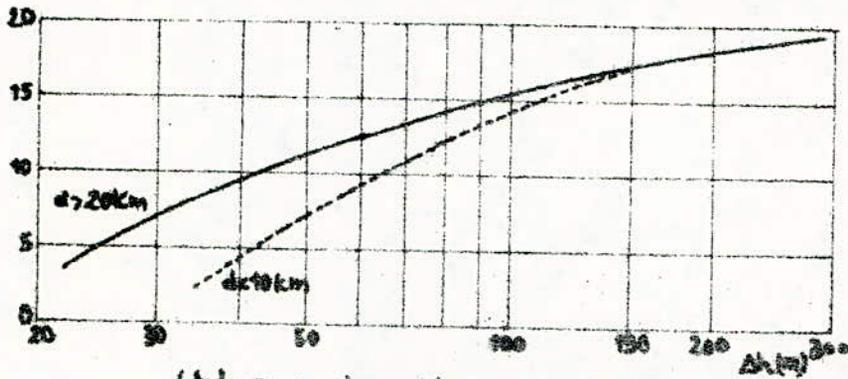
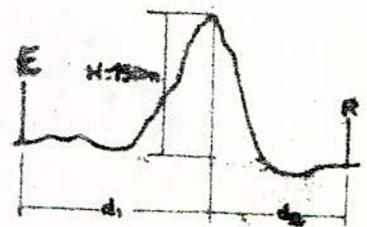
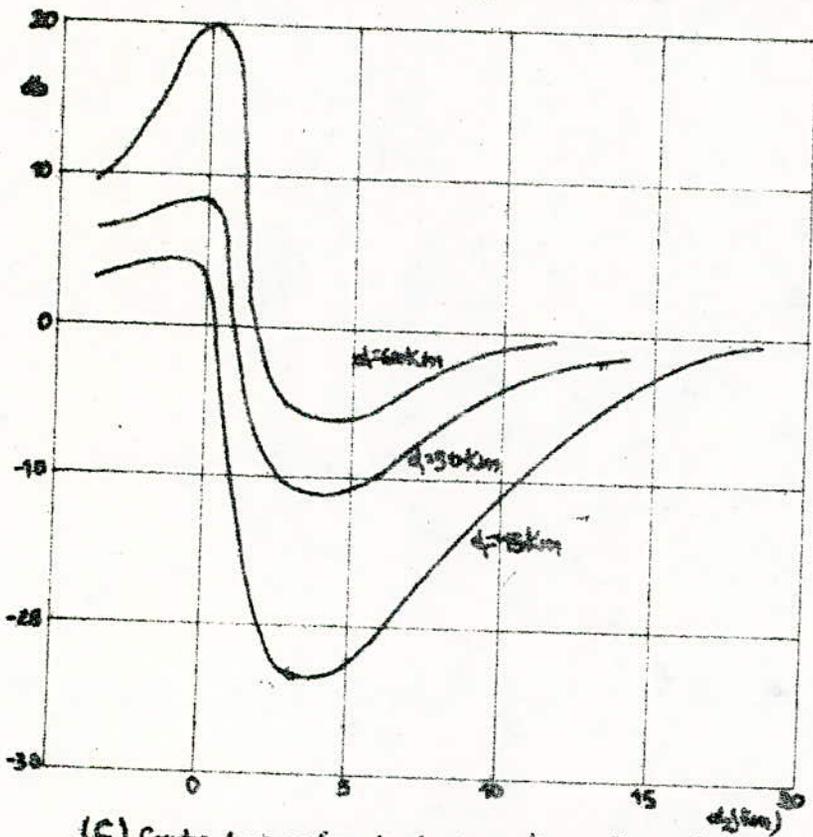


Fig. 21

(b) Courbe donnant la variation maximale du champ en Bande D/F en fonction du facteur d'irrégularité du terrain; d est la distance à l'émetteur.



pour H de 150 m on multiplie les valeurs données ci-dessus par $0,001 H$.
 d_1 et d_2 se exprime en mètres, mesuré à 15 km de part et d'autre de l'arête.

(c) Courbe de correction du champ médian en Bande D/F pour un obstacle de 150 m sur le trajet de propagation; d_1 est la distance à l'émetteur et d_2 la distance obstacle-récepteur, positivement lorsqu'on s'éloigne de l'émetteur.

La valeur ainsi obtenue est une valeur moyenne du champ

2) La valeur moyenne subit une variation en fonction de Δh , une correction en résulte (fig. 21b) représentant le rapport en dB de la valeur crête à la valeur moyenne.

Dans le cas où une crête de montagne se dresse bien au-dessus d'un terrain moyennement vallonné, on effectue alors d'autres corrections.

3) On détermine le champ moyen avec 1) sans considérer la crête, puis on le corrige par la fig. 21 c.

On applique ensuite la correction du 2) à une distance > 5 km de part et d'autre de l'arrête (d de la fig. 21 b sera prise à partir de l'arête au lieu de l'émetteur).

4) Avec ou sans obstacles, en présence de villes, on retranche au champ prévu 3 dB.

Les corrections ainsi apportées ne doivent pas amener le champ médian à dépasser la valeur $E_0 - 10$ dB (E_0 champ en espace libre).

Utilisation des fig. 19 et 20

La partie gauche donne d où on a E (champ) pendant 50 % du temps et en 50 % des lieux en fonction de la hauteur équivalente h_1 . Pour avoir Δh pour $100 < d < 200$ km en interpole.

La précision, sur le champ obtenu par les abaques, est de 1 dB.

EX : Quelle est la distance en bande V pour un terrain plat $\Delta h = 10$ m, pour avoir $E = 5$ mV/m produit par un émetteur de 100 KW de puissance dont l'antenne est située au sommet d'un pylône de 50 m?

Rép : $P = 100$ KW $\Rightarrow P$ (dB) = 20 dB (5) et $\Delta h = 10$ m (4) donnent un pt. sur (3) qui avec $E = 5$ mV/m $\Rightarrow E = 74$ dB (2) donnent un autre pt. sur (1). On a la courbe en E, son intersection avec $h_1 = 50$ m, correspond à la distance demandée $d = 25$ km.

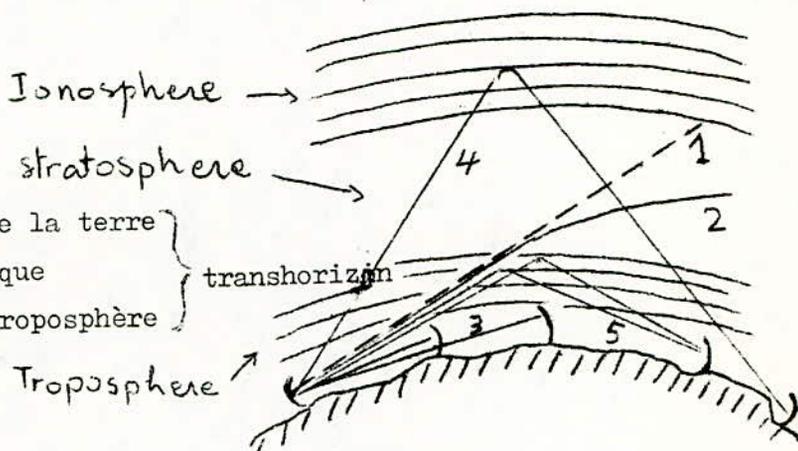
III INFLUENCE DE LA TROPOSPHERE :

Introduction

Pour les ondes métriques, décimétriques et plus courtes l'ionosphère (haute atmosphère d'altitude 100 Km, fortement ionisée) devient transparente et le milieu qui joue un rôle prépondérant dans la propagation est la troposphère. Plus la longueur d'onde est petite plus le rayonnement est sensible aux irrégularités de la troposphère.

Ces irrégularités ont pour conséquences de permettre la propagation à grande distance des ondes ultra-courtes, avec un affaiblissement bien moindre que celui résultant de la propagation de l'onde de sol en atmosphère homogène.

- (1) espace libre
- (2) refraction
- (3) diffraction autour de la terre
- (4) réflexion ionosphérique
- (5) hétérogénéité de la troposphère



Ainsi la troposphère :

- dévie les ondes : c'est la réfraction
- les affaiblit : c'est l'absorption
- les réfléchit et les diffuse : c'est la diffusion

Ces trois phénomènes jouent différemment suivant la fréquence et l'état de la troposphère.

1) CONDITIONS METEOROLOGIQUES

L'état de la troposphère en chacun de ses points est caractérisé par :

- sa température
- sa pression
- sa tension de vapeur d'eau
- la concentration et la nature des particules qu'elle contient.

L'influence de la troposphère sur la propagation des ondes est marquée surtout par l'intermédiaire de l'indice de réfraction :

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

En fait, cet indice varie, à la fois dans l'espace et dans le temps, et cette variation introduit une courbure des " rayons électromagnétiques".

L'indice de réfraction n varie autour de l'unité, selon une loi traduite par la formule expérimentale :

$$(n-1) \cdot 10^6 = 77,6 \frac{p}{T} - 6 \frac{e}{T} + 3,75 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}$$

où : - p est la pression atmosphérique

- e est la pression partielle de vapeur d'eau

- T est la température absolue ($^{\circ}K$)

le terme $-\frac{6e}{T}$ peut être négligé ($p \approx 1000$ et $e \ll 10$) et on obtient la forme réduite du coindice

$$N = (n-1) \cdot 10^6 = \frac{77,6}{T} (p + 4810 \frac{e}{T})$$

2) REFRACTION MOYENNE ET RAYON FICTIF EQUIVALENT DE LA TERRE :

Dans une zone d'atmosphère où l'indice peut être considéré comme fonction de l'altitude h seule, la trajectoire d'un rayon est curviligne

La loi de Descartes, en milieu discontinu permet d'écrire :

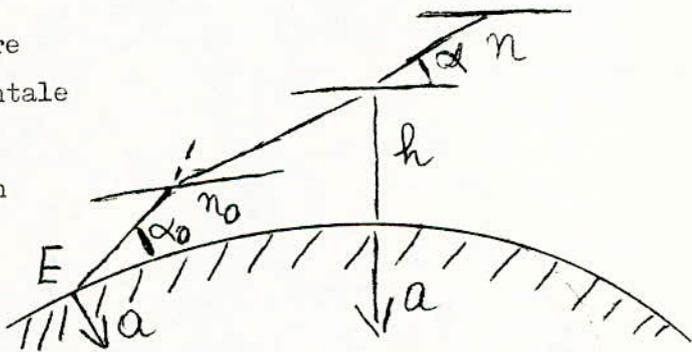
$$n(a+h) \cos \alpha = n_0 a \cos \alpha_0 \quad (1)$$

a rayon réel de la terre

α, α_0 angles avec l'horizontale

h altitude

n, n_0 indices de réfraction



Si l'atmosphère est homogène ($n = n_0$), la formule (1) devient :

$$\left(1 + \frac{h}{a}\right) \cos \alpha = \cos \alpha_0 \quad (2)$$

(2) représente la propagation rectiligne

Si la variation d'indice avec l'altitude est linéaire on aura :

$$n = n_0 + g \cdot h \quad (3)$$

où

$$g = \frac{dn}{dh}$$

On combine (1) et (3) en posant $n_0 = 1$, pour avoir :

$$\left(1 + \frac{h}{a}\right) \left(1 + g h\right) \cos \alpha = \cos \alpha_0 \quad (4)$$

(4) représente la propagation curviligne

Par approximation on aboutit à :

$$\left[1 + h \left(\frac{1}{a} + g \right) \right] \cos \alpha = \cos \alpha_0 \quad (4')$$

La propagation curviligne peut être rectiligne en remplaçant le rayon réel de la terre par un rayon fictif a' tel que :

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{a} + g \quad (5)$$

Pour une troposphère standard définie par $g \approx 40$ unités N par Km,

(5) devient :

$$a' = \frac{4}{3} a \quad (6)$$

Comme $a : 6400$ Km, $a' = 8500$ Km

La propagation troposphérique est considérée rectiligne sur une terre dont le rayon vaut $4/3$ du rayon réel de la terre .

Introduction

Pour disposer, d'une zone de couverture maximale permettant ainsi de desservir un grand nombre de villes, le choix de l'emplacement de la station de télévision sera déterminant.

La procédure d'étude est la suivante :

* Déterminer au moyen d'une carte géographique, le point haut dans la région.

* Localiser les villes importantes au voisinage de ce point

* Tracer les coupes de terrain dans les directions de ces villes sur des cartes, si possible au 1/50 000

* Etudes des résultats des coupes de terrain (diffractions , réflexions, etc...).

* Calculer le champ en différents points de réception en fonction de la fréquence et par utilisation des abaques.

En respectant le champ minimum requis en ces points, on détermine la zone de service (courbe équi-champ)

Le champ calculé déterminera la P.A.R nécessaire, celle-ci est calculée par la formule suivante :

$$P.A.R = P.H.F \times G \text{ de l'antenne}$$

G = gain de l'antenne en tenant compte des pertes dues aux câbles (feeder + câbles secondaires)

1 Choix de l'emplacement

Le choix de l'emplacement d'émetteurs V.H.F - U.H.F est basé sur le critère suivant :

" desservir convenablement, avec une P.A.R donnée, une zone aussi étendue que possible et par suite un nombre maximum d'usagers"

Si la surface à couvrir est connue, un choix préliminaire peut se faire à l'aide d'une carte hypsométrique.

Pour des régions montagneuses des difficultés peuvent être rencontrées pour le choix de l'emplacement; l'emplacement est important car il faut éviter, dans la mesure du possible, les diffractions et les

réflexions à proximité de l'émetteur si non on aura un affaiblissement du champ dans la zone à desservir.

Si un point haut n'est pas disponible :

deux solutions peuvent être retenues :

* Pour des contrées très plates, la construction d'un pylône très haut est indispensable au centre en évitant des émetteurs puissants dans les villes.

* Pour des contrées moins plates, le pylône sera construit en bordure de la zone à couvrir

Si deux emplacements donnent les mêmes résultats, le facteur économique (voies d'accès, alimentation en énergie et en eau, etc..) détermine le choix . En cas d'égalité technique et économique, on passe aux étapes suivantes :

* effectuer des mesures d'essais

* comparer les mesures pratiques et les calculs théoriques.

2 Tracé des coupes de terrain

Le choix de l'emplacement est facilité si un calcul, au préalable, du champ en différents point de la zone à couvrir est fait .

Il existe plusieurs méthodes pour cela (celles fondées sur les abaques et celles sur les équations physiques) dont l'application nécessite un tracé des coupes de terrain suivant plusieurs directions (8 à 12 directions au minimum)

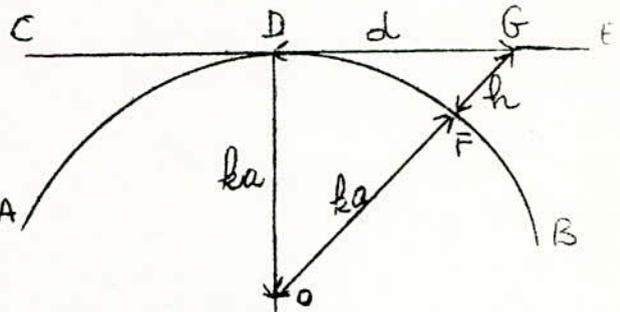
On établira dans une première phase des coupes de terrain vers les villes ayant une forte densité de population. La deuxième phase est d'établir des coupes suivant des directions séparées de 15° à 30° .

Les coupes de terrain révèlent dès le début si un autre emplacement doit être choisi.

Ce tracé est porté sur des axes rectangulaires : altitudes et distances. Il permet de déterminer la région en visibilité optique de l'emplacement.

On transforme toute coupe dans la surface de la terre (limitée aux distances considérées pour la zone de service) en une parabole.

AB = méridien de la surface terrestre .
 CE = trace du plan tangent à AB en D .
 soit DF une distance mesurée sur AB.
 comme l'angle $\hat{D}OG$ est petit $\Rightarrow DF \approx DG$.



GF = h est la hauteur au point F mesurée selon le rayon terrestre

ka = rayon apparent de la terre dont a est le rayon réel

On a : $(ka)^2 + d^2 = (ka + h)^2 = ka^2 + h^2 + 2kakh$
 d'où : $d^2 = h(2kakh) \approx 2kakh$ (car $h \ll 2ka$)
 donc : $h = \frac{d^2}{2ka}$

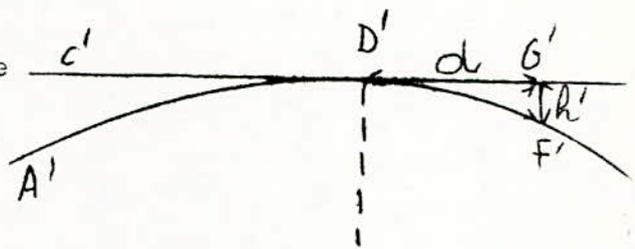
Afin de pouvoir représenter facilement les détails du terrain, on dilate les distances verticales dans un rapport d'échelles n.

h' = distance verticale de la longueur

h = distance horizontale correspondante

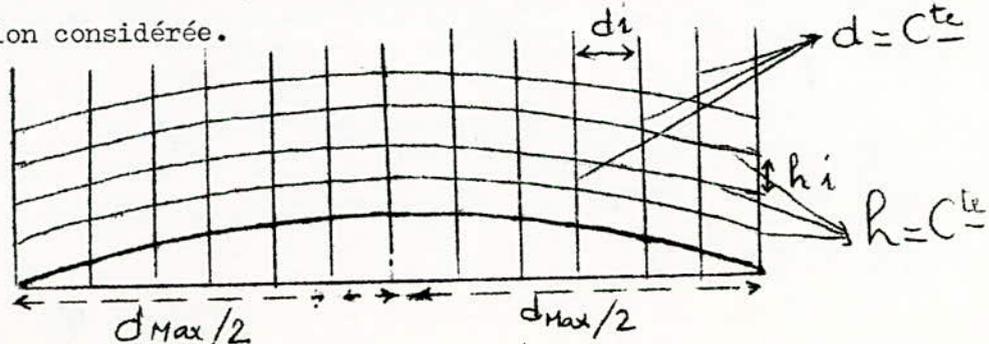
à la même longueur :

$$h' = nh = \frac{nd^2}{2ka}$$



Cette opération transforme en rayons parallèles les rayons divergents de l'arc de cercle (coupe de la surface terrestre); les côtes de terrain et les hauteurs d'antennes sont parallèles à un même axe : axe de la parabole. On approxime l'arc à sa tangente pour pouvoir porter les distances horizontales selon une même direction perpendiculaire à l'axe de la parabole.

Ces paraboles sont utilisées pour effectuer le relevé des profils altimétriques à partir de cartes topographiques. Sur ces cartes sont tracées des lignes de niveau espacées généralement d'au plus 50 m. On reporte sur la parabole méridienne, les côtes lues sur les lignes de niveau, dans la direction considérée.

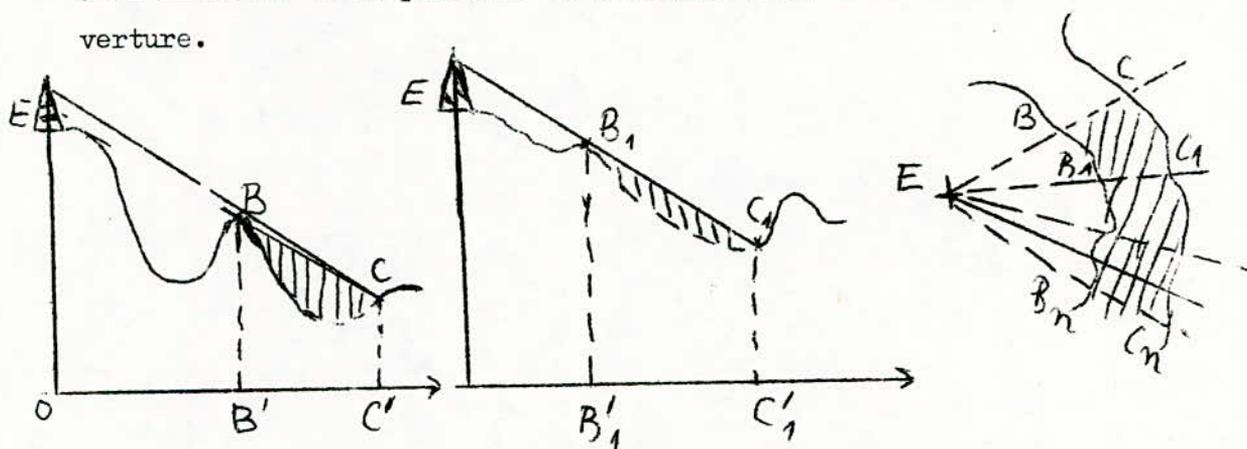


Le report s'effectue dans un réseau de courbes $h = c\sqrt{d}$ et $d = c\sqrt{h}$.
 Les courbes $h = c\sqrt{d}$ sont des arcs de paraboles dont l'axe est celui de la méridienne ; celles $d = c\sqrt{h}$ sont des droites parallèles à l'axe de symétrie des arcs.

Un même réseau est utilisable pour différentes échelles, à condition qu'existe entre les côtes h et les abscisses d la relation :

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

Une méthode similaire permet de déterminer la visibilité directe d'un émetteur et la présence de certaines zones d'ombre dans la zone de couverture.



On reporte la côte du point d'émission E dans un système d'axes, ensuite les côtes du profil jusqu'au point B , où ce profil présente une crête ou variation de pente, 1^{er} point de la zone d'ombre. Le 1^{er} point C sur la carte ayant une cote égale à celle d'un point de la droite AB au-delà de B est la limite extérieure de la zone d'ombre.

De cette manière on traite plusieurs directions à partir du point

Ainsi dans la zone à couvrir, peuvent exister des endroits non desservis par l'émetteur principal, ce qui nécessite l'implantation de réémetteurs.

3 Zone de service

Connaissant l'emplacement de l'émetteur, l'étude des zones à desservir est facilitée en considérant la classification suivante :

- Zone étendues nécessitant des émetteurs à P.A.R importante .

Ces émetteurs sont distribués uniformément sur l'ensemble d'un territoire.

Dans les régions peuplées à reliefs peu accentués, cette couverture est préférable.

- Zones à densité démographique élevée :

dans ce cas, les émetteurs se trouvent dans les centres et à leur proximité

- Zones mal desservies par le réseau principal:

C'est aux émetteurs complémentaires (réémetteurs de faibles puissance) d'assurer cette couverture.

Selon le profil rencontré, on calcule le champ en différents points de réception d'une façon précise en tenant compte de la diffraction, de la rotundité, de la réflexion et de la réfraction.

A la réception , une intensité minimale de champ doit être disponible pour avoir un service satisfaisant : le tableau suivant donne les valeurs préconisées par le C.C.I.R du minimum requis, en dB par rapport à 1 u V/m, de la valeur médiane du champ mesuré pour une hauteur d'antenne de réception de 10 m.

BANDE	I	III	IV	V
Min.requis	48 db	55 db	65 db	70 db

Ces valeurs sont nécessaire pour assurer un rapport de protection à l'égard de tout signal brouilleur (signal utile / signal brouilleur)

Indépendamment de la réception, la meilleure solution pour assurer un service correct est de placer l'antenne d'émission le plus haut possible par rapport à la zone à couvrir.

De cette manière on détermine les courbes équichamps donnant les zones de service.

En planifiant un réseau, les fréquences seront choisies de telle sorte à éviter les brouillages d'un même canal ou d'un canal adjacent . Ce réseau sera déterminé par les paramètres suivant :

* La P.A.R des émetteurs

* L'emplacement de ces émetteurs

Suivant les paramètres ci-dessus, on distingue deux types de réseau :

* Réseau dense, de faibles P.A.R et de faibles hauteurs d'antennes.

* Réseau à large maille, de P.A.R élevées et avec des antennes très hautes.

Des recherches ont permis de définir un facteur de couverture comme le rapport de la zone desservie à la zone à couvrir (exprimé en %). Ce dernier est une fonction croissante de la P.A.R et de la hauteur d'antenne.

Introduction

Les parties précédentes (propagation et zone de couverture) ont révélé la grande importance de la fréquence pour l'affaiblissement du champ et dans le choix de l'emplacement d'un émetteur.

Il est incontournable que chaque service en Radiocommunications choisisse la gamme de fréquences qui l'arrange, sinon aucun service ne sera satisfait (évanouissement, gaspillage de fréquences, encombrement, etc...)

Une union internationale (U.I.T) a été créée pour organiser le spectre de fréquences.

I) SPECTRE DE FREQUENCES

L'Union Internationale des télécommunications (U.I.T) est chargée d'établir un règlement des Radiocommunications, document international d'une grande importance qui, outre l'établissement de définitions et de recommandations diverses, procède à la répartition des fréquences entre les divers pays.

Ce règlement a fait un découpage précis du monde , en zones et en régions, fonction d'une part des ensembles continentaux géographiques, économiques et politiques et d'autre part des particularités techniques de propagation des ondes.

Ce découpage répartit les bandes de fréquences à travers le monde en le divisant en trois Régions : Région 1, Région 2, Région 3.

La Région 1 est limitée à l'Est par la ligne A, à l'Ouest par la ligne B; la Région 2 est limitée à l'Est par la ligne B, à l'Ouest par la ligne C; la Région 3 est limitée à l'Est par la ligne C, à l'Ouest par la ligne A.

Ces trois Régions avec leur frontière apparaissent sur la carte n° 1.

L'Algérie se situe dans la région I

Le spectre des fréquences Radioélectriques est subdivisé en 9 bande (4 à 12) dont la V.H.F et l'U.H.F occupent la 8 ème et la 9 ème bande.

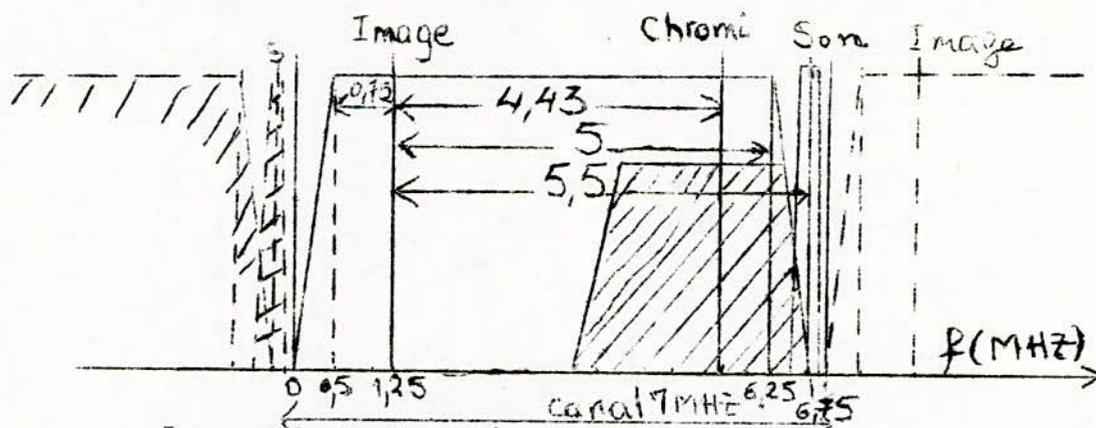
8	V.H.F	30 à 300 MHz	BANDE METRIQUE
9	U.H.F	300 à 3000 MHz	BANDE DECIMETRIQUE

Pour la Télévision utilisant le système CCIR à 625 lignes, de normes B, la V.H.F est subdivisée en 2 bandes ayant des canaux de largeur 7 MHz.

Bande I : 47 à 68 MHz, canaux 2 à 4

Bande III : 174 à 230 MHz, du canal 5 à 12

La configuration spectrale de chaque canal est la suivante :



Largeur de bande vidéo 5 MHz

séparation image/son 5,5 MHz

bande latérale résiduelle 0,75 MHz

sous-porteuse chrominance à 4,43 MHz

La modulation de l'image est négative et celle du son en F M.

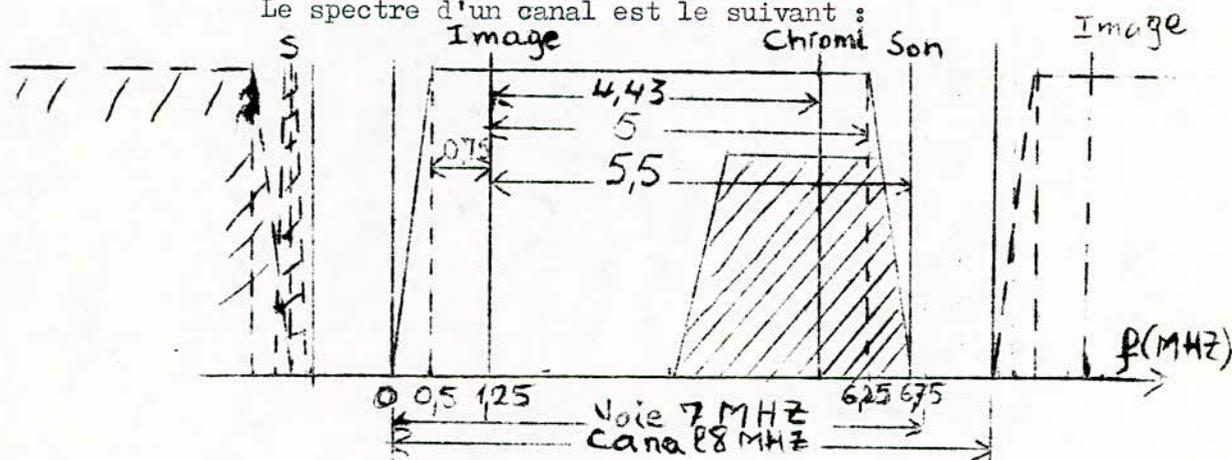
Le réseau de la 1ère chaine de Télévision en Algérie utilise la bande III de ce système. Ce réseau est réparti comme l'indique la carte n°2.

Tous les canaux de la bande III sont actuellement occupés, la saturation de cette bande par le programme actuel fait que l'U.H.F s'avère indispensable pour l'élaboration du réseau de la 2ème chaine de Télévision.

Pour la Télévision , système CCIR, 625 lignes, normes G, l'U.H.F est subdivisée en 2 bandes IV/V utilisant des canaux de largeur 8 MHz.

Bandes IV/V : 470 à 960 MHz du canal 21 à 81

Le spectre d'un canal est le suivant :



La configuration est identique à celle de la V.H.F .

Le plan de STOCKHOLM, établi en 1961 , révisé en 1970 à LONDRES, à affecté un triplet des canaux de l'U.H.F à une sation donnée en fixant la P.A.R max e t la hauteur d'antenne de cette station .

Pour l'Algerie, cette affectation est indiquée sur la carte n° 3.

II BROUILLAGES

Introduction :

Pour établir des plans, durant un certain pourcentage de temps supposé compris entre 1% et 10% du temps, les rapports de protection donnés par les tableaux suivants sont considérés comme acceptables. Ces rapports ont été établis d'après les résultats d'essais subjectifs.

Lors de l'utilisation des rapports de protection dans la planification on tient compte des évanouissements, de façon appropriée, en utilisant les courbes de champs (donnés pour 50% des emplacements) correspondantes au pourcentage du temps pendant lequel la protection est désirée (fig. 22 et 23).

Ces courbes ont été obtenues pour une hauteur h_2 de réception de 10 m et un terrain moyennement vallonné $\Delta h = 50$ m . Pour $\Delta h \neq 50$ m, on applique la correction indiquée par 24 b; si $h_2 \neq 10$ m, le gain de hauteur est donné par 24 a; pour un autre pourcentage des emplacements $\neq 50\%$, la correction est sur 24c.

Tous les rapports de protection qui seront cités concernent le brouillage par un brouilleur isolé pour le système CCIR à 625 lignes .

Ils se rapportent aux signaux à l'entrée du récepteur.

1) RAPPORT DE PROTECTION POUR LE SIGNAL D'IMAGE

Il représente, en dB, le rapport entre les champs utile et brouilleur.

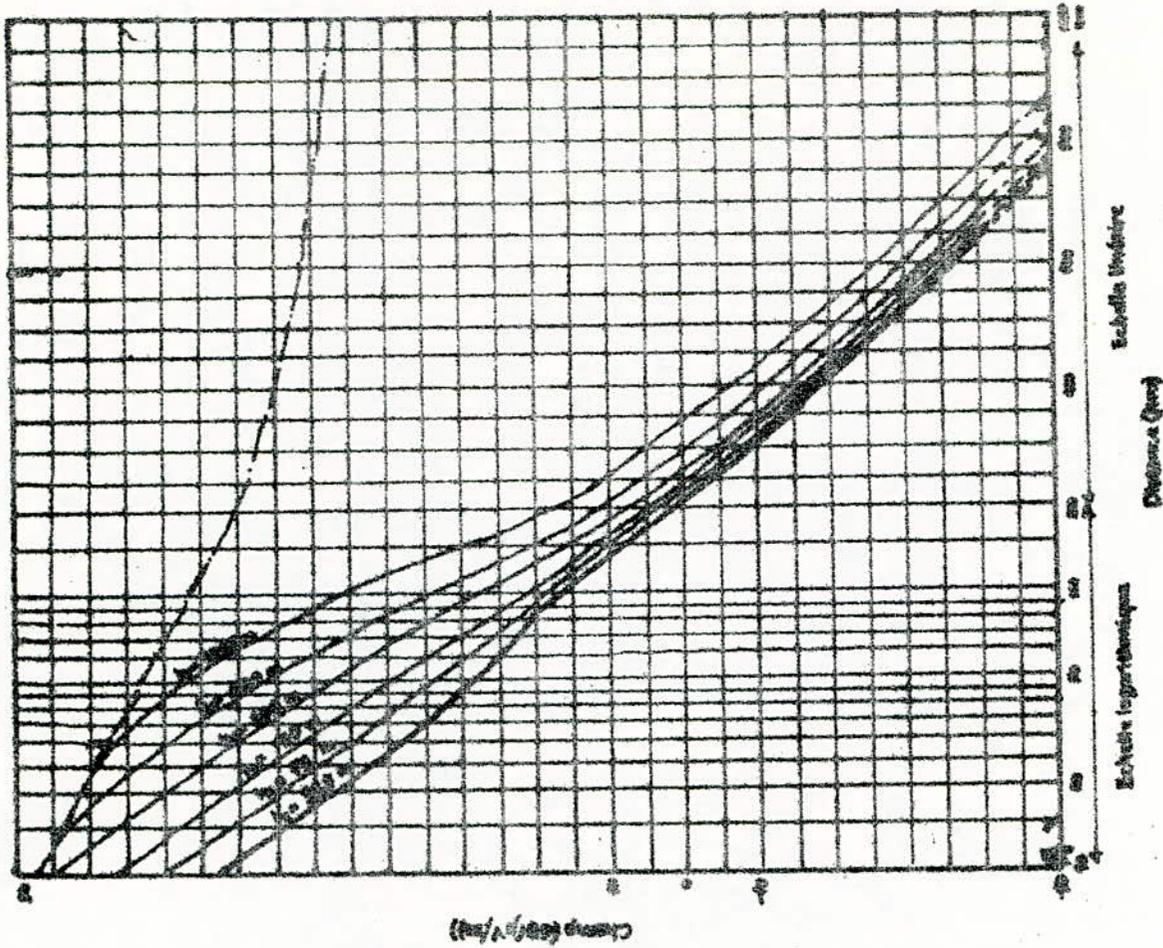
a) Dans le même Canal

- Fréquences de lignes différentes et fréquences nominales des porteuses séparées par 6,3 KHz ; le rapport est : 30 dB

- Fréquences de lignes différentes ou égales :

Porteuses non synchronisées séparées par moins de

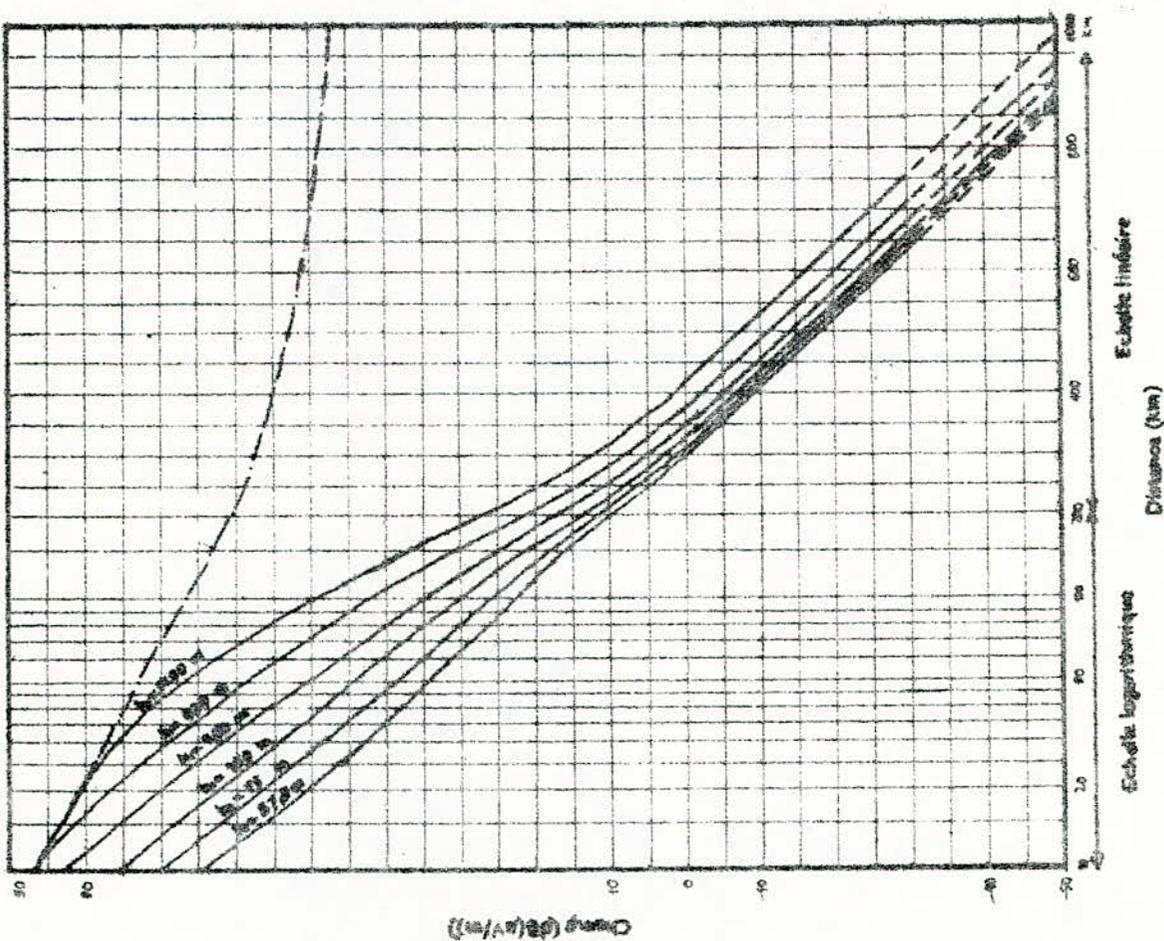
{	1KHz	: 45 Db
	50HZ	: 35 à 40 dB



(b) - Champ (0.5 kV/m) pour 1 kW de puissance appliquée au rayonde
 r fréquence: 500 à 1000 kHz (Bande IV et V) - Terre - 1 m de hauteur -
 50 % de déplacement - $h_0 = 10 m$ - $\Delta h = 50 m$

FIG. 22

Espace libre



(a) - Champ (0.5 kV/m) pour 1 kW de puissance appliquée au rayonde
 r fréquence: 500 à 1000 kHz (Bande IV et V) - Terre - 1 m de hauteur -
 50 % de déplacement - $h_0 = 10 m$ - $\Delta h = 50 m$

Espace libre

54

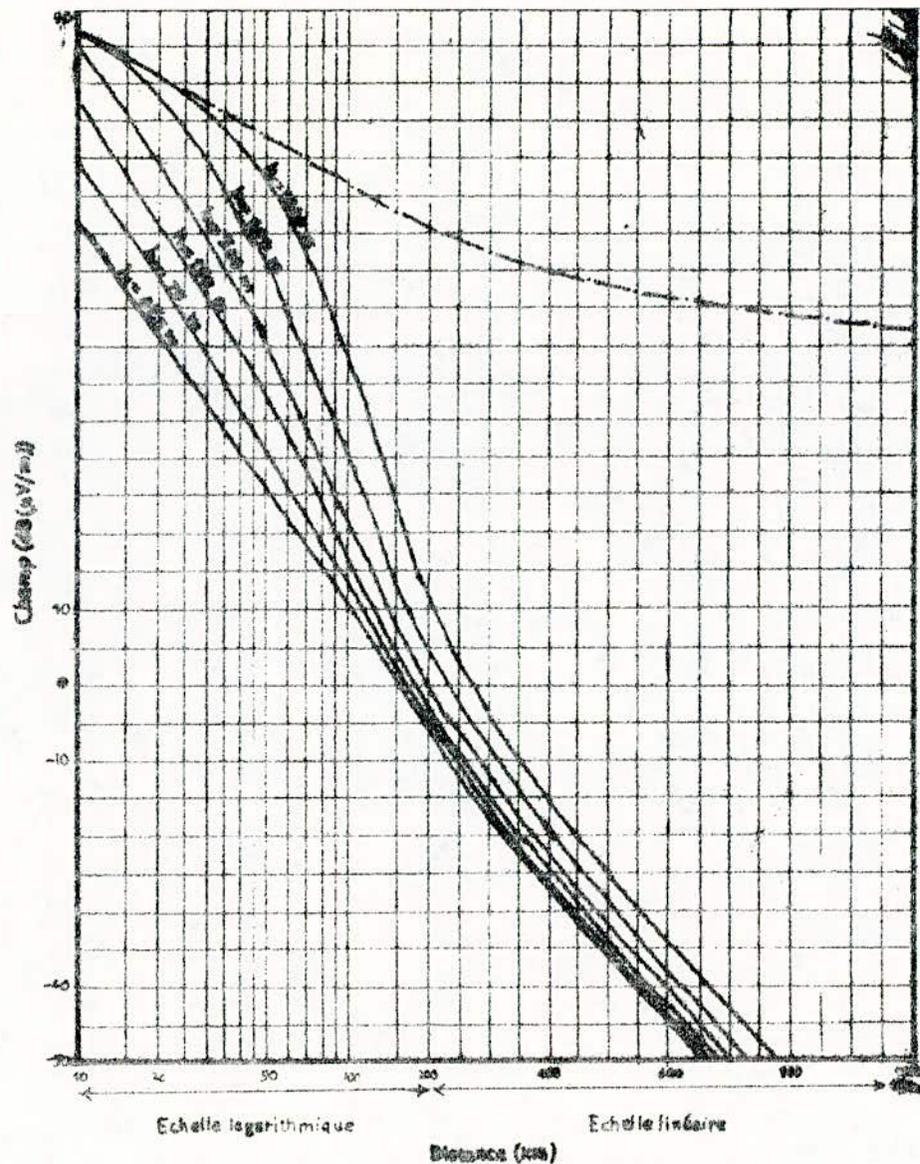


Fig. 22. Champ (dB(μV/m)) pour 1 kW de puissance apparente rayonnée
 Fréquences: 400 à 1000 MHz (Bande 1V et V) — Terre — 50 % du temps —
 50 % des emplacements — $A_2 = 10$ m — $\Delta A = 50$ m

Espace libre

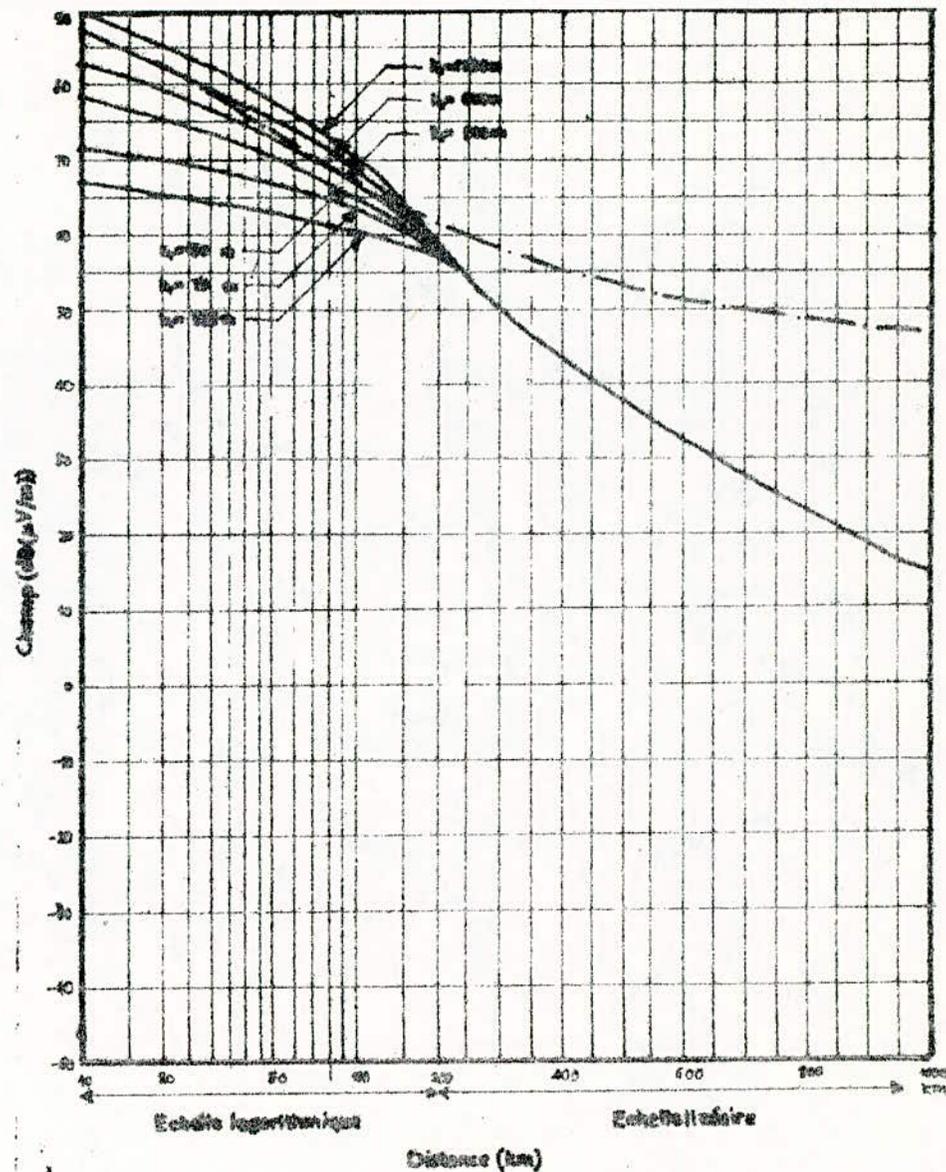
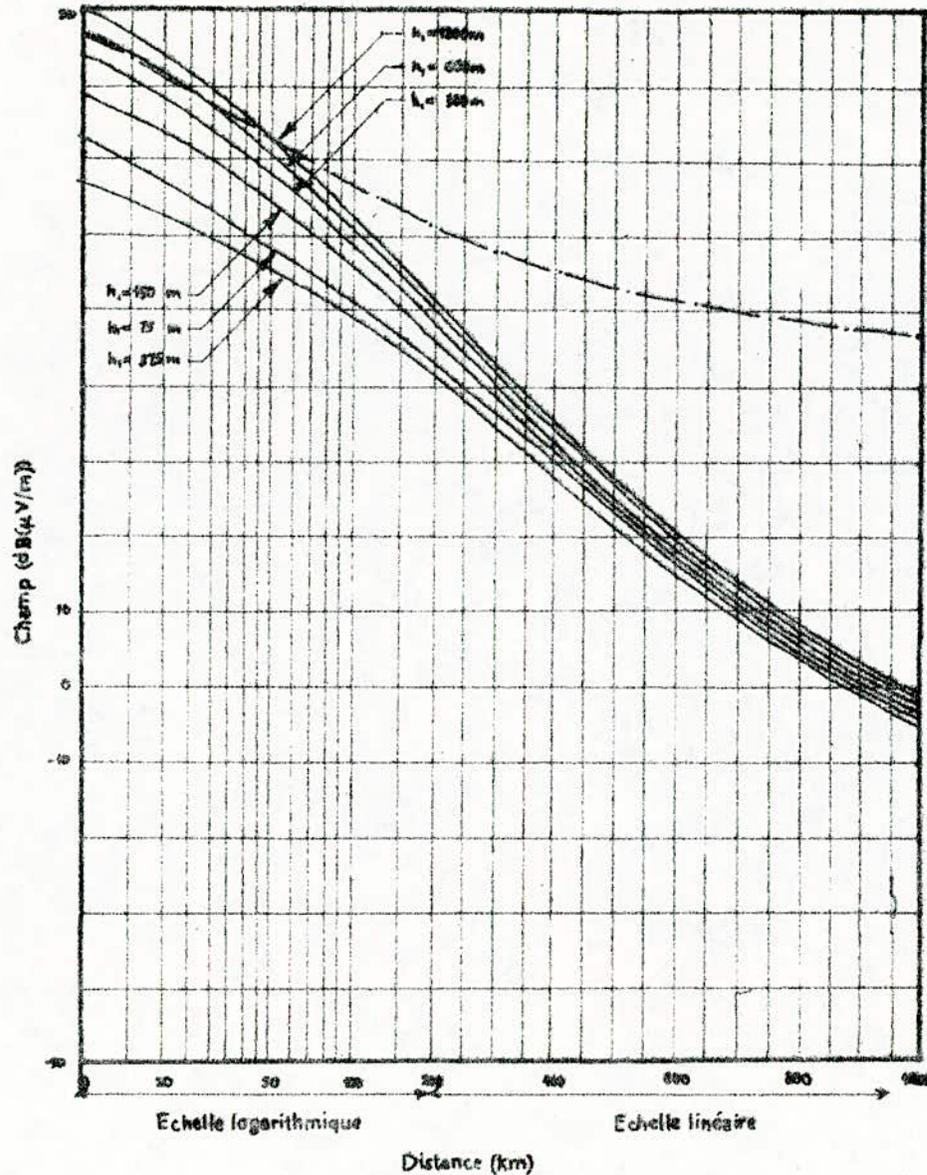


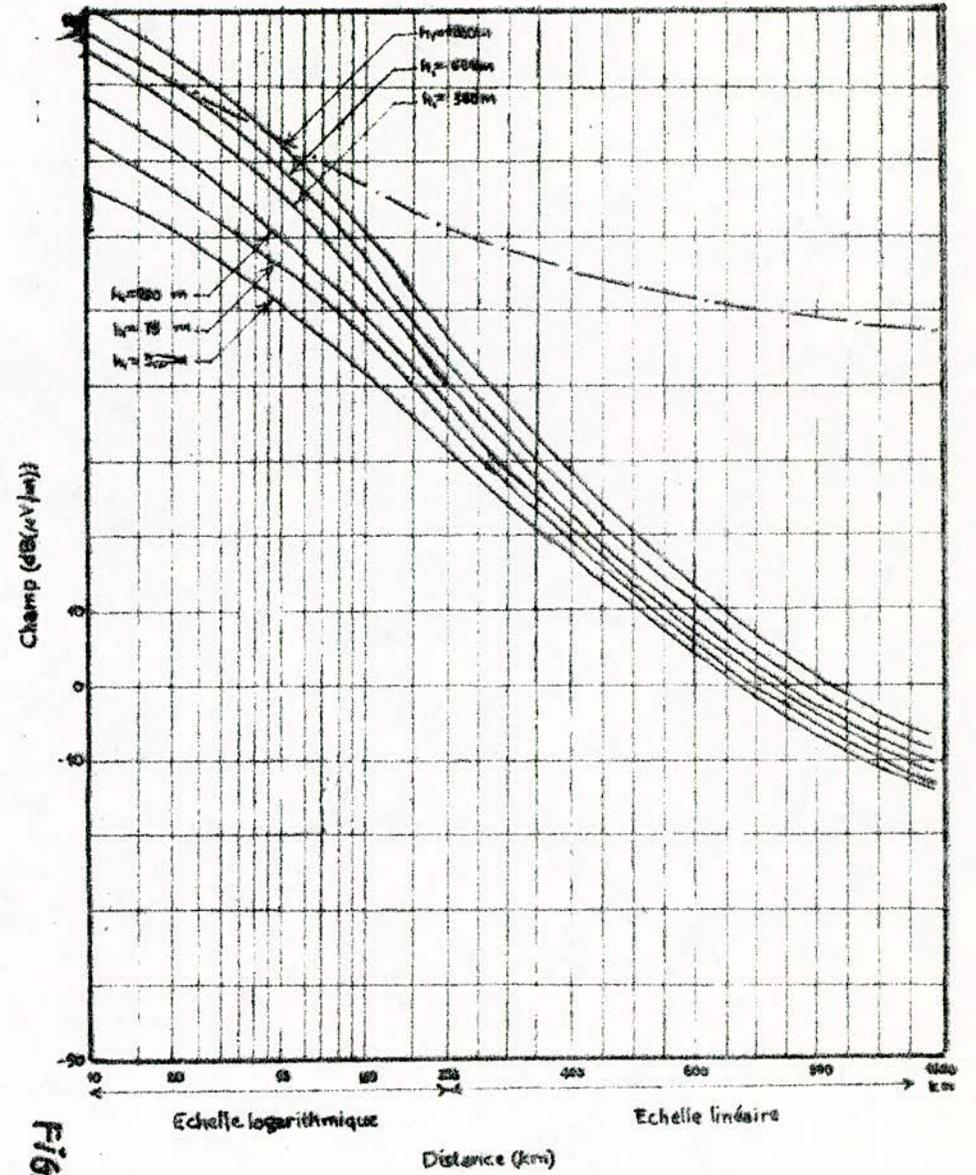
Fig. 23. Champ (dB(μV/m)) pour 1 kW de puissance apparente rayonnée
 Fréquences: 400 à 1000 MHz (Bande 1V et V) — mer Méditerranée —
 1 % du temps — 50 % des emplacements — $A_2 = 10$ m

Espace libre



..... Espace libre

(b) - Champ (dB(µV/m)) pour 1 kW de puissance apparente rayonnée
 Fréquences: 450 à 1000 MHz (Bandes IV et V) — mer Méditerranée — 5% du temps —
 50% des emplacements — $h_2 = 10$ m

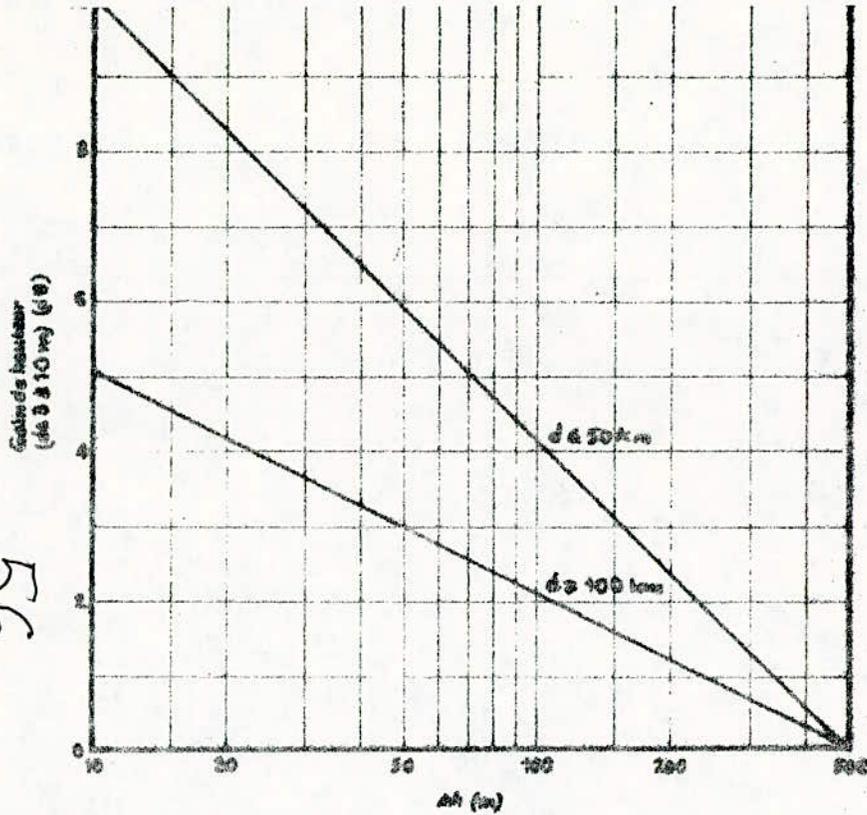


..... Espace libre

FIG. 25

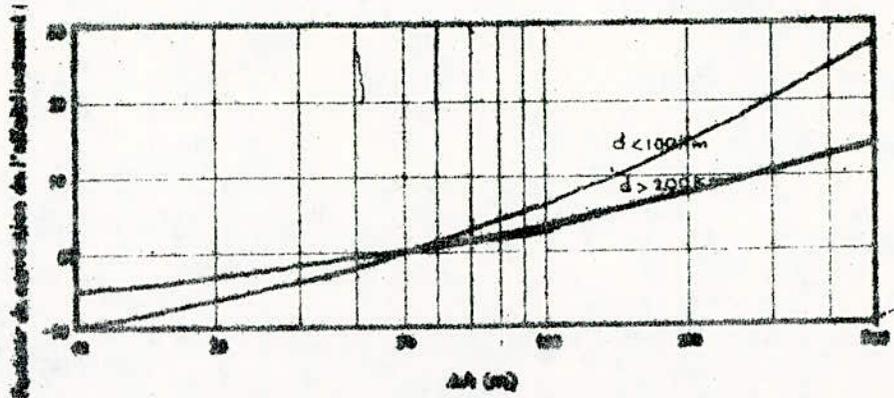
(c) - Champ (dB(µV/m)) pour 1 kW de puissance apparente rayonnée
 Fréquences: 450 à 1000 MHz (Bandes IV et V) — mer Méditerranée — 10% du temps —
 50% des emplacements — $h_2 = 10$ m

56



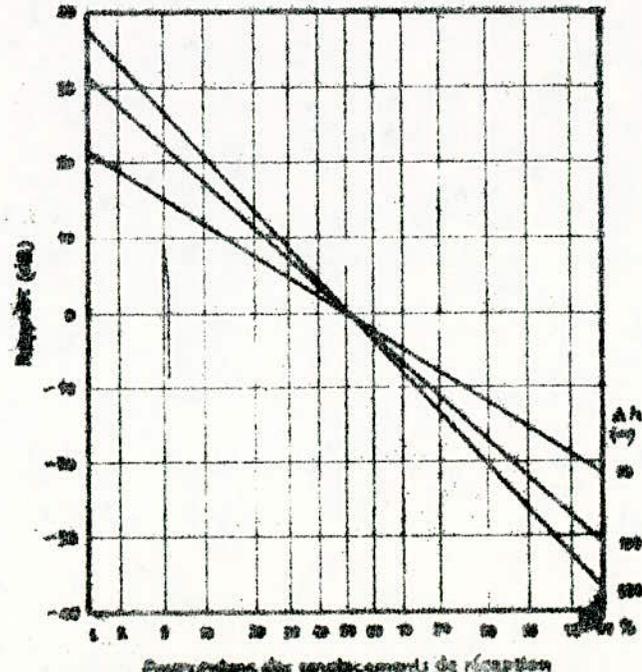
(a) Facteur de gain de hauteur (de 3 à 10 m) en fonction de Δh pour des fréquences de 450 à 1000 MHz (Bandes IV et V); d est la distance à l'émission

FIG. 24



(b) Facteur de correction de l'affaiblissement, en fonction de Δh , pour des fréquences de 450 à 1000 MHz (Bandes IV et V); d est la distance de l'émission

(c) Rapport (dB) entre le champ pour un pourcentage quelconque des emplacements de réception et le champ pour 50% des lieux de réception - Fréquences: 450 à 1000 MHz (Bandes IV/V)



- Même fréquence de ligne et fréquences nominales des porteuses séparées par un multiple d'un douzième de la fréquence de ligne:

Décalage	0	01	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rapport (dB)	45	44	40	34	30	28	27	28	30	34	40	44	45

Ce tableau montre l'importance que revêt le décalage des fréquences pour la planification d'un réseau d'émetteurs.

EX: sans décalage, le rapport est de 45 dB, pour un décalage de 6/12 (1/2) de la fréquence de ligne, il est de 27 dB.

b) Dans les canaux voisins :

- Par le canal supérieur : - 12 dB

- Par le canal inférieur :

* V.H.F : sur un signal image, le plus fort brouillage, provenant d'un autre signal utilisant la même norme, résulte du son du canal inférieur, rapport de protection : - 6 dB.

* U.H.F : les rapports de protection donnés sont ceux qui doivent exister entre les amplitudes du signal image utile et brouilleur :

Norme du signal brouilleur	G	H	I	K	L
Rapport (dB) du signal utile (norme G)	-6	-6	-6	-6	-4

2) BROUILLAGE PAR LE CANAL CONJUGUE :

Le canal conjugué du canal utile N est le canal N-9 . La protection de ce canal n'est assurée que par la sélectivité des circuits hautes fréquences. En admettant un affaiblissement de 4 dB du à ces circuits, il est nécessaire d'avoir un complément de protection à l'entrée du récepteur se chiffre à 15 dB environ.

qui

3) RAPPORT DE PROTECTION POUR LE SIGNAL SON

C'est le rapport en dB entre les puissances des deux émetteurs son utile et brouilleur .

- utile et brouilleur
modulés en fréquence
(FM)

{ Porteuses séparées par moins de 1KHz : 28 dB
{ Porteuses séparées par 5/3 de fréquence ligne : 20dB.

- utile et brouilleur modulés
en amplitude (AM) pour une
différence de fréq. entre por-
teuses:

{ < gamme audible : 30 dB
{ dans la gamme audible : 40 dB
{ > gamme audible : 15 dB.

- utile AM - brouilleur FM pour
une différence de fréq. entre
porteuses:

{ < 1 KHz : 40 dB
{ = 25 KHz : 30 dB
{ = 50 KHz : 12 dB.

- utile FM - brouilleur AM, rap ort de protection : 30 dB.

Les rapports de protection déjà cités doivent être majorés de 10 à 20 dB pour atteindre ceux correspondant à la limite de perception .

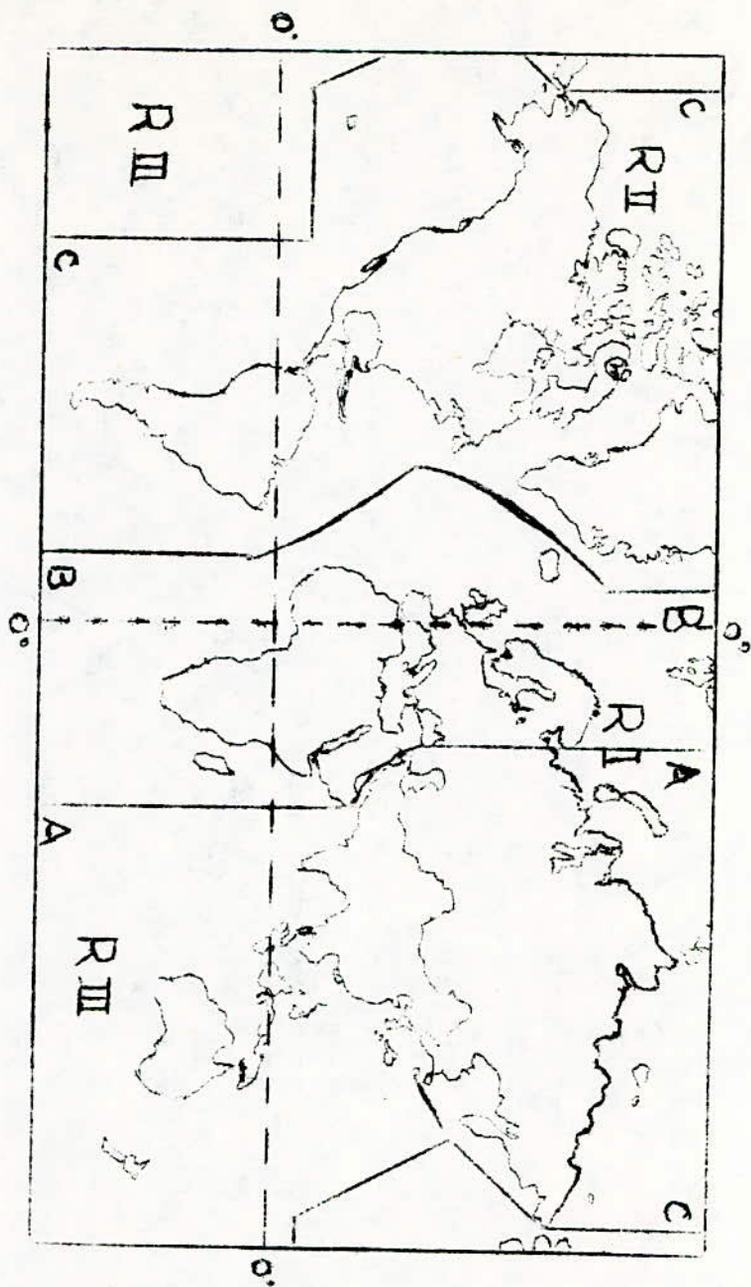
4) BROUILLAGE DU A L'OSCILLATEUR LOCAL

Le rayonnement de l'oscillateur local d'un récepteur, qui capte le canal N, constitue une émission parasite qui brouille la réception du canal N - 4 . Il suffit d'éviter la réception au même lieu de deux émissions séparées de 4 canaux .

5) BROUILLAGES MULTIPLES

Plusieurs méthodes statistiques sont utilisables avec plus ou moins de facilité et de précision pour chiffrer la protection due aux brouillages causés par un certain nombre de sources.

On peut adopter une marge moyenne de 4 dB pour tenir compte de ces brouillages.



Carte des Régions pour la répartition des bandes
de fréquences (N° 1)

3ème Partie : Application pour un centre de T.V. en
U.H.F. : Cas d'AKFADOU.

I N T R O D U C T I O N

Les parties précédentes doivent être appliquées pour la détermination de la zone de service d'un centre en calculant le champ à la réception.

La desserte du Nord de l'Algérie est d'une grande importance à cause de la concentration urbaine. Vu que le relief du nord de l'Algérie est l'un des plus accidentés au monde, le rayon d'action de cette desserte sera trop réduit.

Le point d'émission est pris à une hauteur au-dessus du sol égale à celle du pylône actuel augmenté de 5 m.

Le point de réception est au niveau du sol.

L'émetteur proprement dit sera considéré comme une machine idéale fournissant une puissance nominale donnée (10, 20 ou 40 KW).

I. Caractéristiques du centre d'AKFADOU

Coordonnées géographiques : $\left\{ \begin{array}{l} 36^{\circ} 37' 36'' \text{ N} \\ 4^{\circ} 34' 32'' \text{ E} \end{array} \right.$

Altitude de l'emplacement : 1621 m

Hauteur du pylône existant : 100 m

Au plan de Stockholm, la station prévue utilise un émetteur de P.H.F. de 20 KW émettant sur les canaux 39, 42, 45 avec une P.A.R. max de 1000 KW.

II. Coupes de terrain

On localise le centre sur une carte géographique à l'échelle 1/200000 ou 1/50000. A partir de ce point on trace des droites vers certaines villes : Bejaïa, Bordj Bou Arreridj, Akbou, Tazmalt, Draa El Mizane, Tizi-Ouzou et Dellys.

On relève les altitudes et les distances (mm) pour chaque direction. Les mm sont traduits en km pour être reportés avec les altitudes correspondantes sur un gabarit spécial (exemple de la coupe de Tizi-Ouzou).

III. Calcul de diffraction

Pour le calcul, le canal utilisé est 42 (639,25 MHz) qui se situe dans la bande IV de l'U.H.F.

Le calcul est basé sur l'utilisation des abaques.

Dans le cas de 2 diffractions successives, l'affaiblissement d'ensemble est la somme des diffractions successives obtenues d'une part entre le point d'émission et le 2ème point de diffraction, d'autre part entre le 1er point de diffraction et le point de réception.

Des essais on montré qu'un service convenable est espéré pour un champ minimum dépassant d'au moins 12 dB le champ sans diffraction.

1) AKFADOU - BEDJAIA (fig. 25 a)

La coupe est faite sur une longueur de 48 km selon l'azimut 72° .

- Une diffraction se présente à une distance de 44 km et à une altitude de 100 m.

Le champ reçu en ce point sans diffraction pour 1 KW de P.A.R; (dB μ V/m) est 66 dB (fig. 1 p.8 avec $d = 91$ Km joignant Akfadou et le point en question).

On joint le point d'émission au précédent point pour déterminer la hauteur de l'obstacle et la distance d_2 au point de réception.

La perte qui en résulte est de 25 dB (fig. 13 p.26 avec $H = 125$ m et $d_2 = 16,5$ Km).

Le champ après diffraction est 41 dB, comme le champ min doit être supérieur de 12 dB au champ sans diffraction, il est de $65 + 12 = 77$ la P.A.R. nécessaire doit donner les $(77 - 41)$ dB pour assurer une réception correcte : 36 dB ce qui correspond à P.A.R. de $10^{3,6} = 3981$ KW.

Comme la puissance (P.A.R. max.) permise pour ce centre est de 1000, ce point se trouve dans une zone d'ombre (aucune réception).

- Une diffraction se produit à BEJAIA à une distance de 48 Km et à une altitude 0 m.

De la même manière on traite cette diffraction pour avoir :

Champ sans diffraction : 65 dB (fig. 1 p.8)

Perte par diffraction : $17,4$ dB (fig. 13 p. 26)

Champ après diffraction : $47,6$ dB

Champ min = 65 + 12 : 77 dB

Champ nécessaire pour récupérer : $77 - 47,6 = 29,4$ dB

P.A.R. nécessaire, pour cela par rapport à 1 KW est :

$$10 \log P = 20 \log E = 29,4 \text{ dB}$$

$$\text{d'où } P = 10^{2,94} = \text{P.A.R.} = 871 \text{ KW}$$

Cette P.A.R. est elle aussi importante pour permettre la réception à BEJAIA qui ne sera pas desservie par AKFADOU.

Un réémetteur est indispensable pour la région.

2) AKFADOU - BORDJ BOU ARRERIDJ (fig. 25 b)

La longueur de la coupe est de 65 Km suivant l'azimut 164°

- Une diffraction au 45^e Km à une altitude de 1650 m se produit :

Pour le calcul on procède de la même manière que celui de la 1ère coupe.

Champ sans diffraction : 70 dB

Champ min : 65 + 12 = 77 dB

Perte par diffraction : $16,6$ dB

Champ après diffraction : $43,4$ dB

Champ à récupérer : $77 - 43,4 = 33,6$ dB

La P.A.R. nécessaire est trop élevée ($10^{3,36}$) > 2000

- Le point d'altitude 1350 m est en vue directe du Centre.

Champ en espace libre : 70 dB
Champ mim : 77 dB
Champ à récupérer : 7 dB
P.A.R. nécessaire : $10^{0,7} = 5$ KW

D'après la coupe la ville de B.B.A ne sera pas desservie par la centre ce qui nécessite un réémetteur pour couvrir la région en question.

3) AKFADOU - DRAA EL MIZANE (fig. 25 c)

Azimut : 261°
Longueur : 67 Km

- Une diffraction à 400 m d'altitude et à 58 Km du centre apparaît.

Champ sans diffraction : 66 dB
Champ mim $65 + 12 = 77$ dB
Perte par diffraction : 12 dB
Champ après diffraction : 54 dB
Champ à récupérer : 23 dB
P.A.R. nécessaire $10^{2,3} = 200$ KW

- à 400 m d'altitude et 61 km, il n'y a pas de diffraction.

Champ en espace libre : 66 dB
Champ mim : 77 dB
Champ à récupérer : 11 dB
P.A.R. nécessaire $10^{1,1} = 12,6$ KW.

Draa El Mizane est arrosé par ce centre.

4) AKFADOU - DELLYS (fig. 25 d)

- A 63 km du centre à une altitude de 50 m on a une diffraction.

Champ sans diffraction : 64 dB

Champ min : 77 dB

Perte par diffraction : 26 dB

Champ après diffraction : 38 dB

Champ à récupérer : 39 dB

P.A.R. trop élevée ($10^{3,9}$), pas de réception pour ce point.

- A une altitude de 150 m et à une distance de 28 km, le champ est en espace libre.

Champ en espace libre : 67 dB

Champ min : 77 dB

Champ à récupérer : 10 dB

P.A.R. nécessaire : 10 KW

Après le 52^e km la couverture est difficile, un réémetteur est indispensable pour Dellys.

5) AKFADOU - AKBOU (fig. 26 a)

- à 44 Km et à une altitude de 900 m, une diffraction résulte par le sommet 1150 m.

Champ sans diffraction : 70 dB

Perte par diffraction : 19,4 dB

Champ après diffraction : 50,6 dB

Champ à rattraper : 77 - 50,6 = 26,4 dB

P.A.R. nécessaire ($10^{2,64}$) = 437 KW

Après le sommet 1150 m (à 37 km du centre) la desserte est difficile.

Le relief de la région d'Akbou est trop accidenté, la desserte d'Akbou n'est pas envisageable.

6) AKFADOU - TAZMALT (fig. 26 b)

D'après la coupe la desserte après le 11^e km (sommet à 1550 m d'altitude) est impossible. Tazmalt reçoit le champ après trois diffractions à 1550 m, 1200 m les deux dernières.

Comme le champ de réception en U.H.F. est relativement fort, on ne peut espérer ~~une~~ réception après deux diffraction. Un réémetteur est nécessaire dans cette région.

7) AKFADOU - TIZI OUZOU (fig. 27)

- à une distance de 48 Km et à une altitude de 150 m la transmission est en espace libre.

Champ en espace libre : 65 dB

Champ mim : 77 dB

Champ à récupérer : 12 dB

P.A.R. nécessaire : 15,8 KW

- à une altitude de 250 m et à une distance de 36 km du centre on a une diffraction.

Champ en espace libre : 67 dB

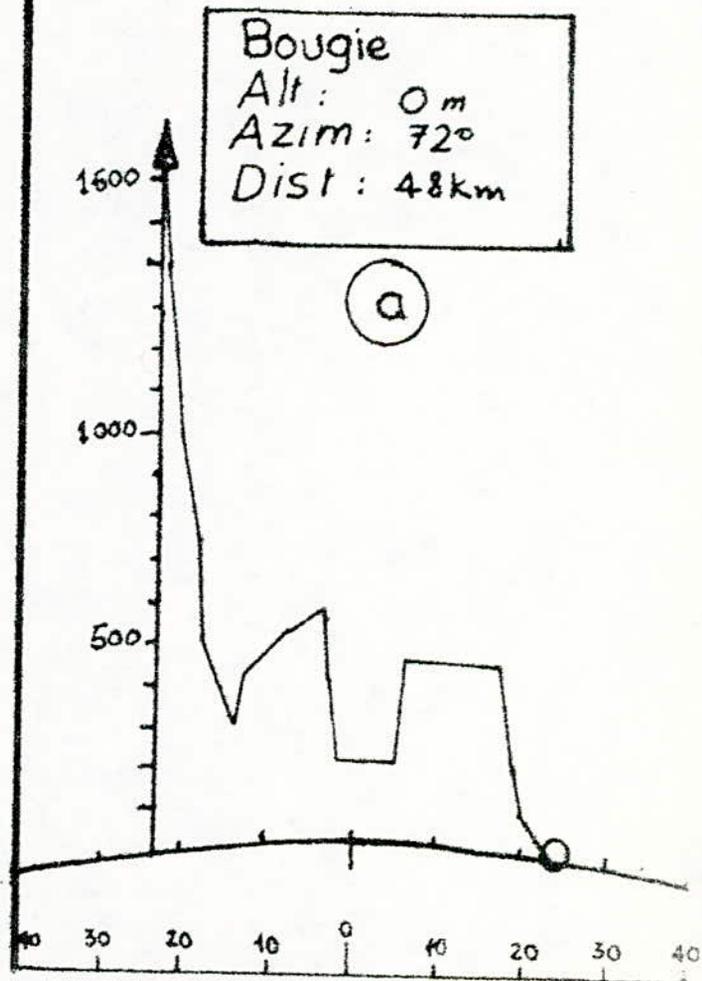
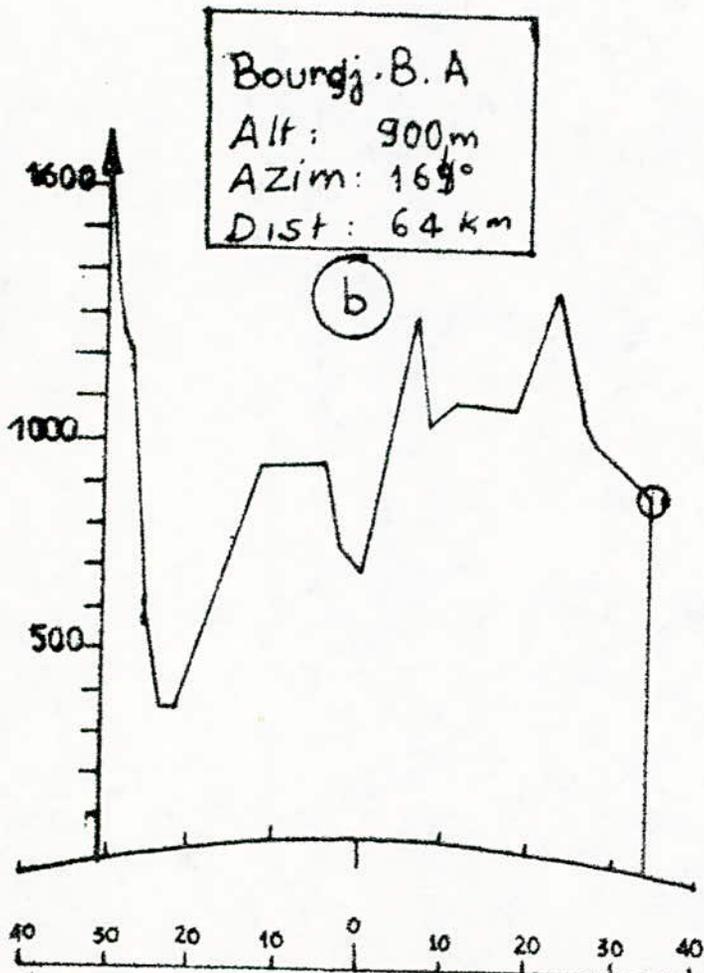
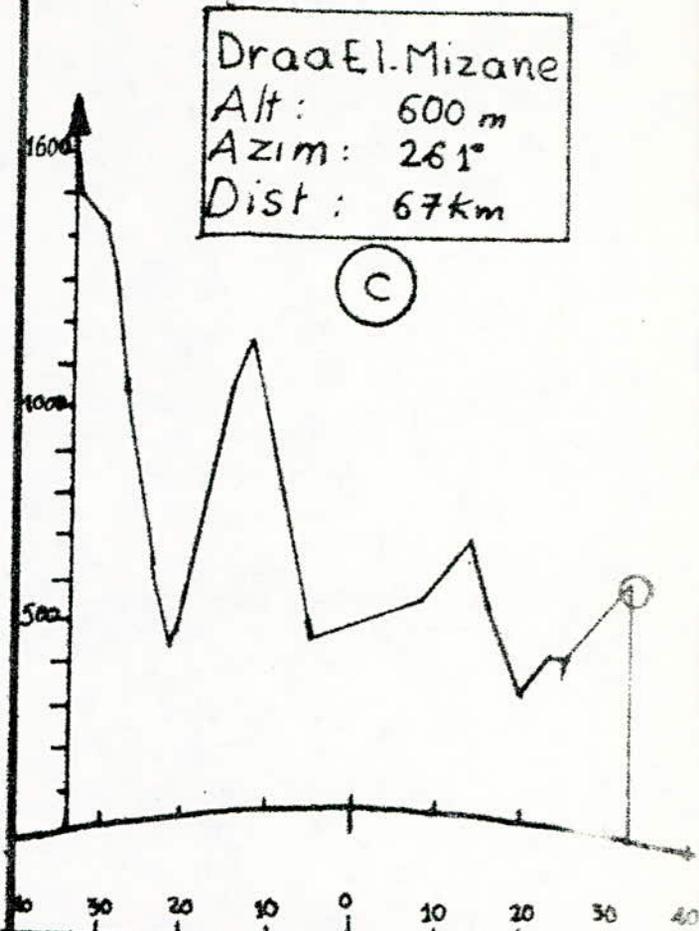
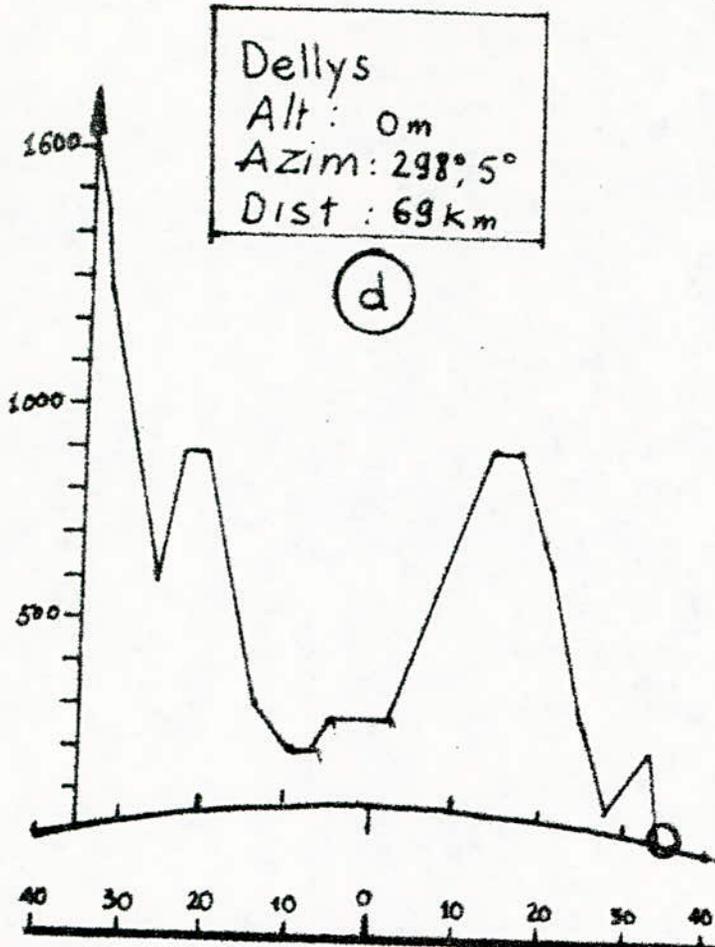
Perte par diffraction : 12 dB

Champ après diffraction : 55 dB

Champ à rattraper : (77 - 55) = 22 dB

P.A.R. nécessaire $10^{2,2} = 158,5$ KW

Fig: 25



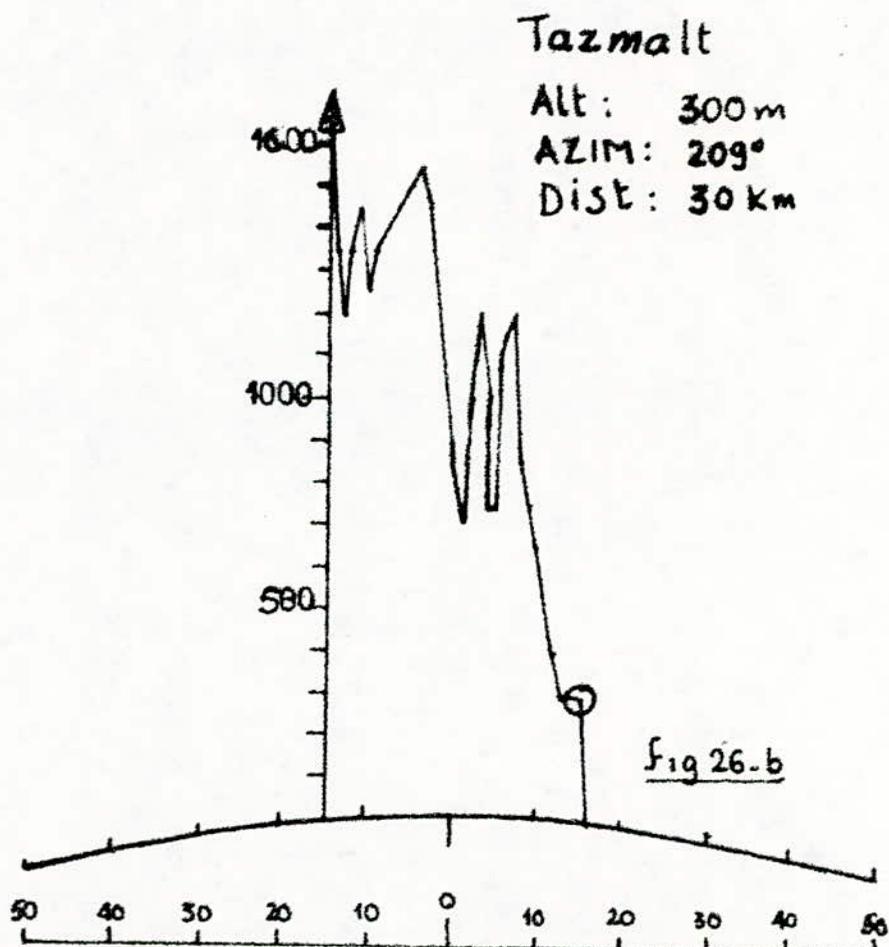
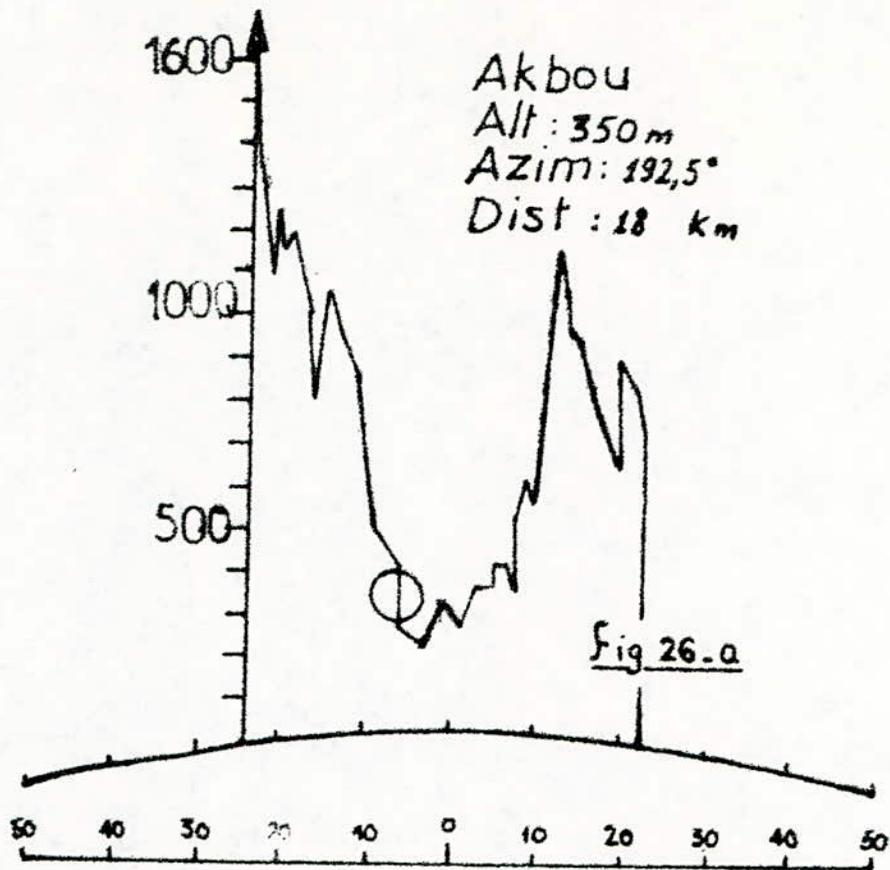
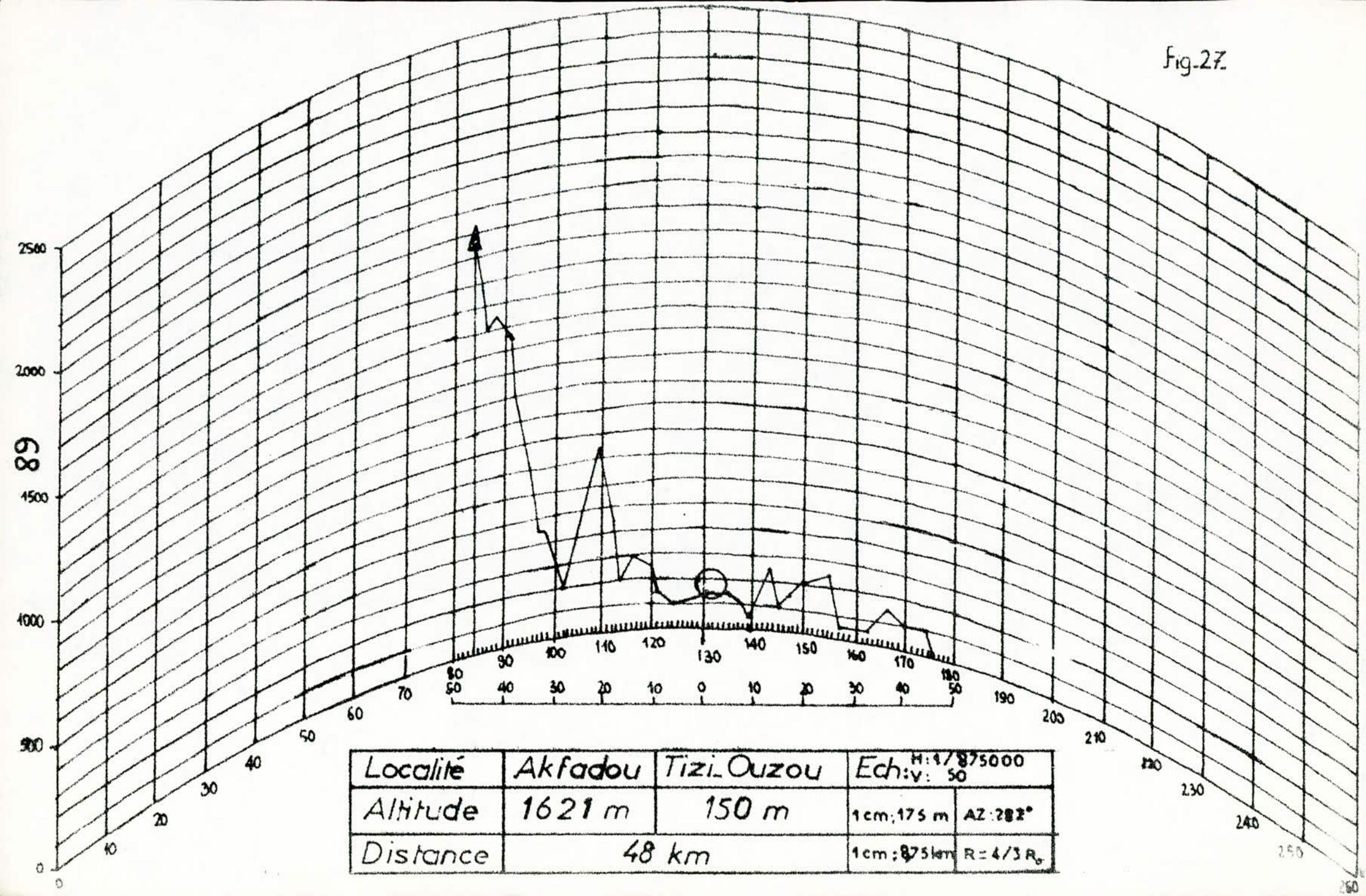


Fig-27.

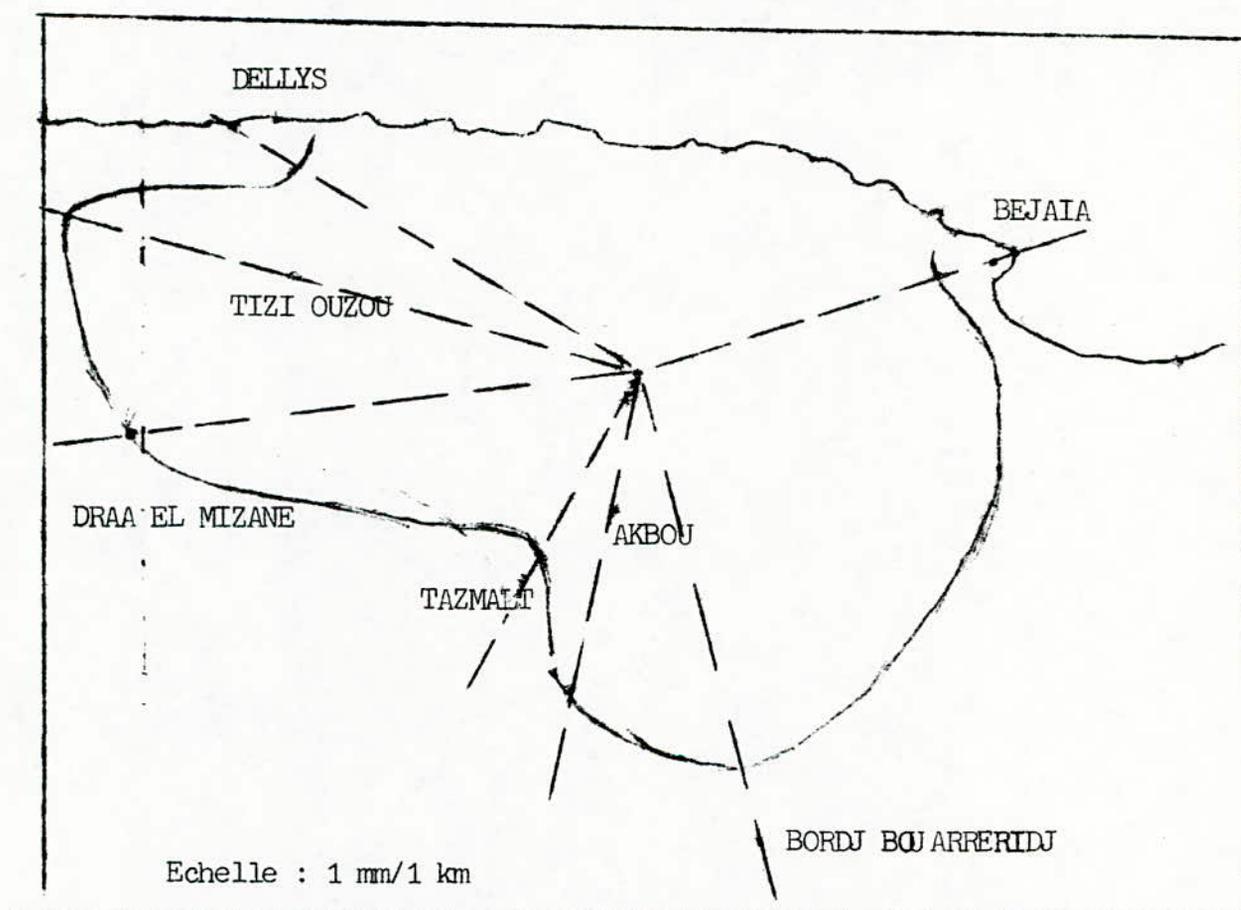


Localité	Akfadou	Tizi-Ouzou	Ech: $\frac{1}{875000}$
Altitude	1621 m	150 m	1 cm: 175 m AZ: 282°
Distance	48 km		1 cm: 875 m R: 4/3 R ₀

Coupe		Localité			Diffraction		Champ théorique	P.A.R.
Azimut	Longueur	Nom	Distance	Altitude	Nombre	Valeur en dB	reçu pour une P.A.R de 1 KW (dBuV/m)	nécessaire (KW)
72°	48 km	BEDJAIA	41 Km	450 m	0	-	67	10
			48 Km	0 m	1	17,4	47,6	871
164°	64 Km	B.B.A.	45 Km	1050 m	1	16,6	43,4	> 2000
			54 Km	1350 m	0	-	70	5
192,5°	47 Km	AKBOU	37 Km	1150 m	0	-	71,5	4,46
			44 Km	900 m	1	19,4	50,6	437
209°	30 Km	TAZMALT	30 Km	300 m	≥ 3	-	-	> 2000
261°	67 Km	DRAA EL MIZANE	58 Km	400 m	1	12	54	200
			67 Km	700 m	0	-	66	12,6
282°	92 Km	TIZI OUZOU	36 Km	250 m	1	12	55	158,5
			90 Km	100 m	0	-	63	25
298°	69 Km	DELLYS	52 Km	850 m	0	-	68,5	7
			63 Km	50 m	1	26	38	> 2000

IV. Zone couverte d'après le calcul

Cette zone est obtenue en reportant à partir du centre d'Akfadou, selon les azimuts que l'on s'est fixés, les distances (rayon d'action) où le champ minimum en bande IV est reçu avec les P.A.R. nécessaires correspondantes. Le champ minimum requis pour cette bande étant de 65 dB ($1\mu\text{V/m}$), une marge de 12 dB a été prise pour parer aux éventuelles incertitudes dues au calcul, précision faible de certains nomogrammes, etc.



Comme le relief entre les azimuts 72° (Bejaia) et 164° (B.B.A) est pratiquement le même, le rayon d'action du centre d'Akfadou pour cette région reste presque le même.

C O N C L U S I O N

D'après l'étude précédente, le champ minimum requis qu'exige l'U.H.F. pour avoir un service satisfaisant est plus élevé que celui exigé par la V.H.F.

Ainsi, un des problèmes est l'obtention d'une très grande P.A.R. avec un gain d'antenne optimal (du point de vue technique et économique) tout en limitant les pertes dues aux câbles.

De plus, les conditions de propagation sont moins favorables surtout en terrain accidenté, où l'U.H.F. ne permet pas plus de deux diffraction à cause du champ. Il faut donc prévoir un champ minimum supérieur au champ minimum requis.

On voit donc que si l'emploi de l'U.H.F. présente des inconvénients par rapport à la V.H.F., il offre des avantages dont le principale est l'utilisation d'une gamme de fréquences plus étendue.

L'utilisation de l'U.H.F. s'avère, en tous les cas, nécessaire vu l'encombrement du spectre de fréquences étroit de la V.H.F.

Table des matières

Introduction	2
<u>1ère partie : Etude théorique</u>	
Chapitre I : Transmission et rayonnement	3
Introduction	3
I. Propagation des ondes planes	3
1) Rappel sur les équations de Maxwell	3
2) Caractéristiques des milieux de propagation	6
3) Propagation en espace libre	7
Annexe 1	10
II. Rôle du sol	13
1) Caractéristiques électriques du sol et facteurs influants sur les valeurs de ces constantes	13
2) Les abaques de Bullington	16
3) Influence des accidents de terrain : diffraction	23
Annexe 2	31
4) Prévision du champ au moyen de courbes de propagation empiriques	36
III. Influence de la troposphère	41
1) Conditions météorologiques	41
2) Réfraction moyenne et rayon fictif équivalent de la terre	42
Chapitre II : Zone de couverture	
Introduction	44
1) Choix de l'emplacement	44
2) Tracé des coupes de terrain	45
3) Zone de service	47

2ème Partie : Plan de fréquences

Introduction	50
I. Spectre de fréquences	50
II. Brouillages	52
1) Rapport de protection pour le signal d'image	52
2) Brouillage par le canal conjugué	57
3) Rapport de protection pour le signal son	58
4) Brouillage du à l'oscillateur local	58
5) Brouillages multiples	58

3ème Partie : Application pour un centre
en U.H.F. cas d'AKFADOU.

Introduction	60
I. Caractéristiques du centre d'AKFADOU	60
II. Coupes de terrain	60
III. Calcul de diffraction	61
IV. Zone couverte d'après le calcul	70
CONCLUSION	71

B I B L I O G R A P H I E

- Données techniques prises en considération par la Conférence Européenne de Radiodiffusion sur ondes métriques et décimétriques U.E.R. (1961).

- Détermination de l'emplacement des émetteurs en ondes métriques et décimétriques U.E.R. (1965).

- Volume V et XI C.C.I.R. 1979

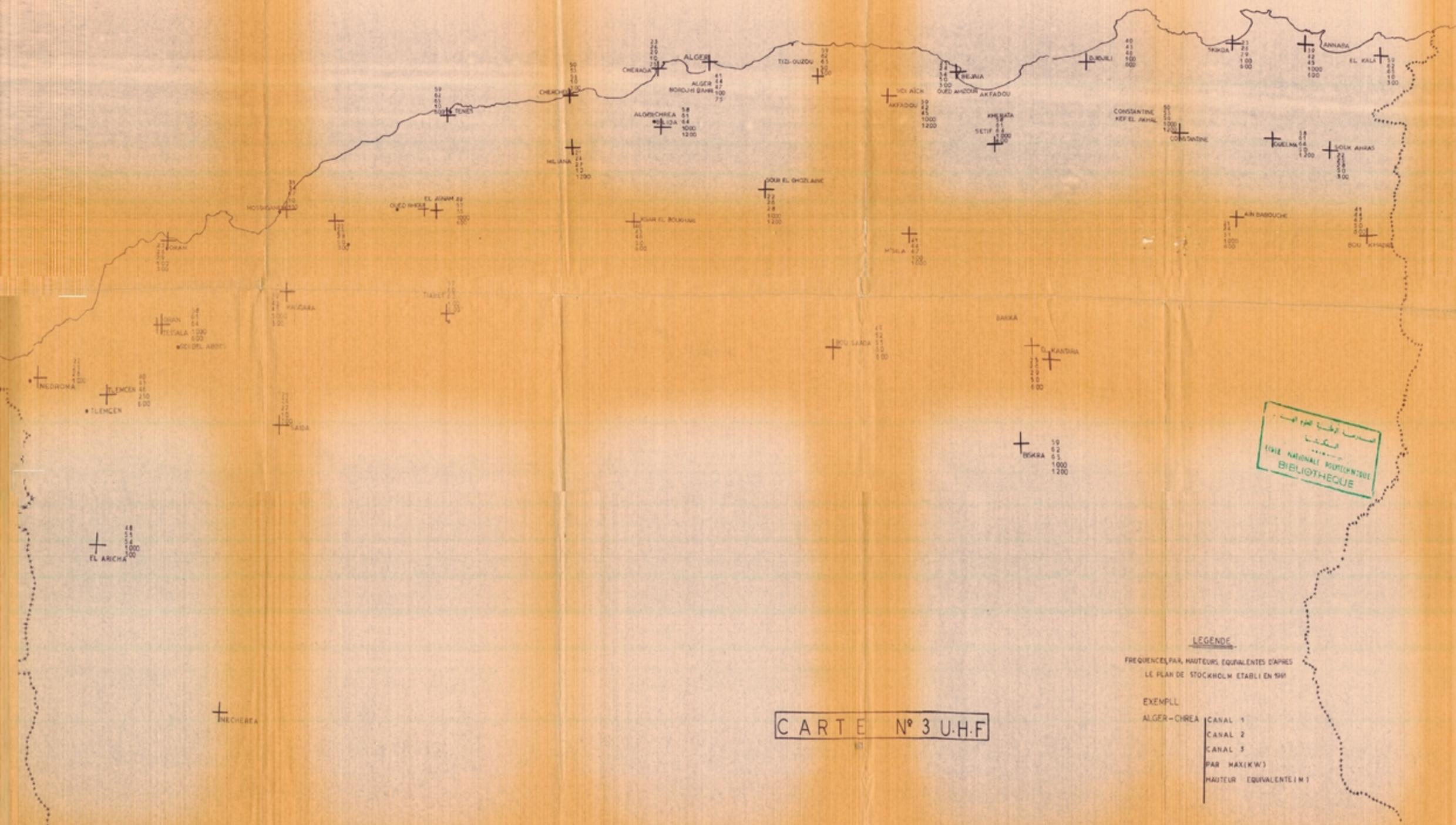
- Propagation troposphérique :
 - Faisceaux hertziens transhorizon CASTEL

- Propagation des ondes radioélectriques
 - Fascicule 1 . Bases théoriques
Rôle et influence du sol
J.C. Pelissolo (1970)

- Rôle et influence de la troposphère (1971)
 - J.C. Pelissolo

- Application générale de l'électronique
 - 4. Le Domaine des ondes (1970)
C. Bras

- Actes finals de la conférence administrative mondiale des radiocommunications - Genève 1979.



CARTE N° 3 U.H.F

LEGENDE

FREQUENCES PAR HAUTEURS EQUIVALENTES D'APRES
LE PLAN DE STOCKHOLM ETABLI EN 1947

EXEMPL

- ALGER-CHREA CANAL 1
- CANAL 2
- CANAL 3
- PAR MAX (K/W)
- HAUTEUR EQUIVALENTE (M)

سازمان اسناد و کتابخانه ملی
الجزایر
BIBLIOTHEQUE
NATIONALE TECHNIQUE