



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

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

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

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

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

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

Conférence administrative régionale
de radiodiffusion à ondes kilométriques
et hectométriques

**RAPPORT DE LA PREMIERE SESSION
(TEXTES DU C.C.I.R.)**

(Genève, 1974)



Secrétariat général
de
l'Union internationale des
télécommunications
Genève



REPORT OF THE FIRST SESSION

· (C.C.I.R. TEXTS)

(Corrigendum No. 1)

1. (Only concerns the French text).
2. On page 15, abscissa axis, the number 5 should be placed on the vertical line corresponding to 5 (and not to 6, as at present).

**Conférence administrative régionale
de radiodiffusion à ondes kilométriques
et hectométriques**

**RAPPORT DE LA PREMIERE SESSION
(TEXTES DU C.C.I.R.)**

(Genève, 1974)



Avant-propos du Directeur du C.C.I.R.

Lors de la première session de la Conférence de radiodiffusion à ondes kilométriques et hectométriques, Genève, 1974, le C.C.I.R. a, dans le Doc. N° 10 et son annexe, présenté à titre d'information pour les délégués une série complète de textes dont il a estimé qu'ils concernaient directement les problèmes que la Conférence était appelée à résoudre.

Au moment de la préparation du rapport de la première session de cette Conférence, il a été décidé de lui annexer un certain nombre de ces textes afin qu'ils puissent servir de bases techniques aux travaux de planification dont sera chargée la deuxième session.

Cette série de textes, qui figure dans la présente annexe, est plus restreinte que la série originale pour les raisons suivantes :

- certains textes considérés comme n'ayant qu'un caractère d'information ou un intérêt secondaire n'ont pas été répétés;
- d'autres textes, dont la substance a été incorporée au rapport lui-même, ont également été supprimés pour éviter de faire double emploi.

Il convient par ailleurs d'appeler l'attention des délégués à la seconde session de la Conférence sur les textes du C.C.I.R. ci-après qui, bien que ne figurant pas dans le recueil original du fait de leur volume, renferment néanmoins des données importantes intéressant directement les travaux de cette session. Il s'agit des textes ci-après :

- Rapport 322 : Répartition mondiale et caractéristiques des bruits atmosphériques radioélectriques.
- Rapport 340 + Supplément N°-1 : Atlas C.C.I.R. des caractéristiques ionosphériques.
- Rapports 413, 414 et 415 : Utilisation plus efficace du spectre radioélectrique.

Tous ces textes ont été publiés séparément et peuvent être obtenus contre paiement à la Division des publications de l'U.I.T.

Enfin, il convient de mentionner aussi le Rapport 258-2 intitulé : "Bruit radioélectrique industriel" qui, bien que ne faisant pas partie de la série de textes originaux, contient certains points propres à intéresser la seconde session de la Conférence. C'est la raison pour laquelle on en trouve le texte dans la présente série.

TABLE DES MATIERES

<u>AVIS</u>		Page
368-2	Courbes de propagation pour l'onde de sol aux fréquences comprises entre 10 kHz et 10 MHz	5
372-1	Utilisation des données sur le bruit radioélectrique	18
448-1	Radiodiffusion sonore en ondes kilométriques et hectométriques (bandes 5 et 6). <u>Rapport de protection aux fréquences radioélectriques</u>	19
498	Radiodiffusion sonore en ondes kilométriques et hectométriques (bandes 5 et 6). <u>Brouillages dus à la transmodulation ionosphérique</u>	21
499	Radiodiffusion sonore en ondes kilométriques et hectométriques (bandes 5 et 6). <u>Définitions des valeurs spécifiques des champs et de la zone de service</u>	22
 <u>RAPPORTS</u>		
229-2	Caractéristiques électriques de la surface de la Terre	24
258-2	Bruit radioélectrique industriel	36
298-3	Rapport de protection pour la radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude	39
400-2	Radiodiffusion sonore en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques (bandes 5, 6 et 7). <u>Facteurs limitant la zone desservie en ondes hectométriques (bande 6)</u>	47
401-2	Radiodiffusion sonore en ondes kilométriques et hectométriques (bandes 5 et 6). <u>Antennes d'émission à grande efficacité</u>	65
457-1	Radiodiffusion en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques (bandes 5, 6 et 7). <u>Largeur de bande nécessaire à l'émission</u>	77
458-1	Radiodiffusion sonore en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques (bandes 5, 6 et 7)	89
459-1	Rapports de protection aux fréquences radioélectriques pour émetteurs de radiodiffusion synchronisés	103
460-1	Transmodulation ionosphérique	110
616	Couverture en radiodiffusion sonore dans la bande 6 (ondes hectométriques): problèmes d'exploitation	125

	<u>Page</u>
617 Caractéristiques des récepteurs de radiodiffusion sonore et des antennes de réception	139
618 Définitions du rayonnement dans les bandes 5 (ondes kilométriques) et 6 (ondes hectométriques)	146

A V I S

AVIS 368-2

COURBES DE PROPAGATION POUR L'ONDE DE SOL
AUX FREQUENCES COMPRISES ENTRE 10 kHz ET 10 MHz

(Projet de Question 3-1/5)

(1951-1959-1963-1970-1974)

Le C.C.I.R.,

CONSIDERANT

- a) que les courbes de propagation pour l'onde de sol, dans une gamme étendue de fréquences, présentent une importance sans cesse croissante pour tous les types de radiocommunication, y compris les aides à la navigation;
- b) qu'on doit disposer d'une famille de telles courbes correspondant à de nombreuses valeurs de la conductivité du sol si l'on veut qu'elles s'appliquent aux conditions variées rencontrées, en pratique, au long des trajets terrestres,

EMET A L'UNANIMITE L'AVIS

que les courbes ci-jointes (voir Annexe), utilisées dans les conditions spécifiées dans le texte accompagnant les courbes, soient adoptées pour la détermination du champ de l'onde de sol pour les fréquences inférieures à 10 MHz.

ANNEXE

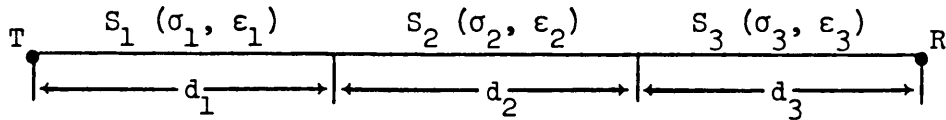
Les courbes de propagation ci-jointes s'appliquent à des fréquences inférieures à 10 MHz.

Ces courbes appellent les observations ci-après :

1. elles ont été établies pour un sol régulier homogène;
2. il n'est pas tenu compte des effets de la troposphère sur ces fréquences;
3. on a supposé que l'émetteur et le récepteur étaient tous deux situés sur le sol. Les effets de l'augmentation du gain en fonction de la hauteur peuvent être extrêmement importants dans le cas des auxiliaires de la navigation pour les aéronefs volant à haute altitude, mais il a été décidé de ne pas tenir compte de ces effets pour le moment;
4. les courbes se rapportent aux conditions suivantes :
 - elles sont calculées pour la composante verticale du champ électrique d'après l'analyse rigoureuse de van der Pol et Bremmer;
 - l'émetteur est un doublet électrique vertical idéal de Hertz, auquel une antenne verticale de longueur inférieure au quart d'onde est presque équivalente;
 - le moment de ce doublet est choisi de telle manière que le doublet rayonnerait une puissance de 1 kW si la Terre était un plan infini parfaitement conducteur, auquel cas le champ rayonné aurait, à 1 km de distance, une valeur de $3 \times 10^5 \mu\text{V/m}$;
 - les courbes sont tracées pour des distances mesurées autour de la surface courbe de la Terre;
 - la courbe "A" intitulée "inverse de la distance", à laquelle les courbes sont asymptotiques pour les courtes distances, passe par la valeur de champ de $3 \times 10^5 \mu\text{V/m}$ pour une distance de 1 km;
5. l'affaiblissement de propagation défini à l'Avis 341 pour l'onde de sol peut être déterminé d'après les valeurs de champ (en dB par rapport à $1 \mu\text{V/m}$) indiquées par les courbes ci-jointes, en utilisant l'équation (19) du Rapport 112;
6. en règle générale, les courbes ne devraient être utilisées pour déterminer le champ que dans les cas où l'on peut prévoir, avec certitude, une amplitude négligeable des réflexions ionosphériques pour la fréquence en question, par exemple lorsqu'il s'agit de la propagation de jour dans la bande comprise entre 150 kHz et 2 MHz et pour les distances inférieures à 2 000 km environ. Toutefois, dans des conditions où le champ de l'onde d'espace est comparable ou supérieur à celui de l'onde de sol, les courbes demeurent applicables lorsque l'effet de l'onde de sol peut être séparé de celui de l'onde d'espace au moyen d'émissions par impulsions, comme c'est le cas pour certains systèmes de radiogoniométrie et d'aide à la navigation;

7. les courbes sont applicables à la détermination de la propagation sur des trajets mixtes (au-dessus d'un sol régulier hétérogène), de la façon suivante :

Ces trajets peuvent être constitués de sections S_1, S_2, S_3 , etc. de longueurs d_1, d_2, d_3 , etc. ayant des conductivités et des constantes diélectriques respectives $\sigma_1, \epsilon_1; \sigma_2, \epsilon_2; \sigma_3, \epsilon_3$; etc. comme le montre le schéma ci-dessous pour trois sections :



Parmi les diverses méthodes semi-empiriques permettant de déterminer la propagation sur de tels trajets, celle due à Millington [Millington, 1949] est la plus précise et satisfait à la condition de réciprocité. Avec cette méthode on présume que l'on dispose des courbes qui s'appliquent aux différents types de terrain correspondant aux sections S_1, S_2, S_3 , etc. supposées individuellement homogènes, et se rapportant toutes à la même source T définie, par exemple, par une courbe << inverse de la distance >>. Les valeurs pour toute autre source pourront ainsi être obtenues par l'application d'un coefficient.

On choisit, pour une fréquence donnée, la courbe correspondant à la section S_1 et l'on relève le champ $E_1 (d_1)$ en dB ($\mu V/m$) pour la distance d_1 . La courbe correspondant à la section S_2 permet de déduire ensuite les champs $E_2 (d_1)$ et $E_2 (d_1 + d_2)$ puis on trouve, de façon similaire, à l'aide de la courbe s'appliquant à la section S_3 , les champs $E_3 (d_1 + d_2)$ et $E_3 (d_1 + d_2 + d_3)$ et ainsi de suite.

Le champ à la réception E_R est alors défini par l'expression

$$E_R = E_1 (d_1) - E_2 (d_1) + E_2 (d_1 + d_2) - E_3 (d_1 + d_2) + E_3 (d_1 + d_2 + d_3)$$

On inverse alors le processus en appelant R l'émetteur et T le récepteur; on obtient ainsi un champ E_T défini par l'expression

$$E_T = E_3 (d_3) - E_2 (d_3) + E_2 (d_3 + d_2) - E_1 (d_3 + d_2) + E_1 (d_3 + d_2 + d_1)$$

Le champ requis est donné par $\frac{1}{2} \sqrt{E_R + E_T}$, la manière d'étendre le calcul à un nombre plus grand de sections étant évidente.

Cette méthode pourrait en principe être étendue aux changements de phase si l'on disposait des courbes correspondantes de la phase en fonction de la distance pour un sol homogène. Ces données seraient nécessaires pour l'application aux systèmes de navigation;

8. il convient de continuer à utiliser cet Avis jusqu'au moment où on aura pu le réviser conformément aux suggestions contenues dans le Rapport 428-1.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FURUTSU, K. [1955] Propagation of electro-magnetic waves over a flat earth across a boundary separating different media and coastal refraction. J. Radio Res. Lab. (Tokio), 2, 1.
- GROSSKOPF, J. [1950] Zur Ausbreitung von Mittelwellen über inhomogenes Gelände (Propagation des ondes hectométriques sur terrain non homogène). Fernmeldetech. (FTZ), 3, 118.
- MILLINGTON, G. [1949], Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth. Proc. I.E.E. Part III, 96, 53.
- MILLINGTON, G., et ISTED, G. A. [1950] Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth Part 2. Experimental Evidence and Practical Implications. Proc. I.E.E., 97, 209.
- SENIOR, T.B.A. [1957] Radio propagation over a discontinuity in the earth's electrical properties : I et II Coastal refraction. Proc. I.E.E., Part C, 104, 43, 139.
- WAIT, J.R. [1961] On the theory of mixed-path ground-wave propagation on a spherical earth. NBS Journal of Research, 65D, 401.

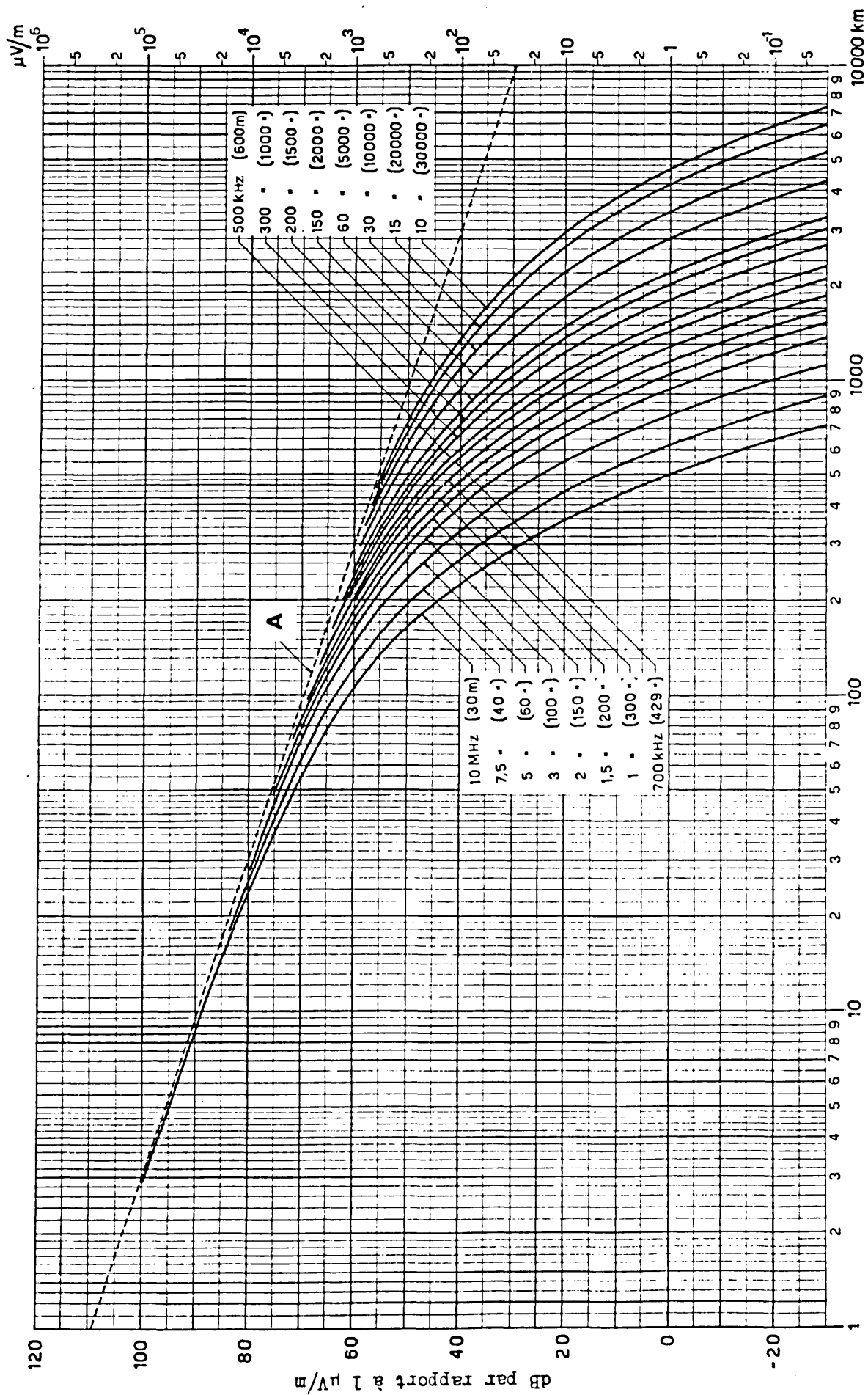


FIGURE 1

Courbes de propagation de l'onde de sol; mer, $\sigma = 4 \text{ S/m}$, $\epsilon = 80$
A: Inverse de la distance

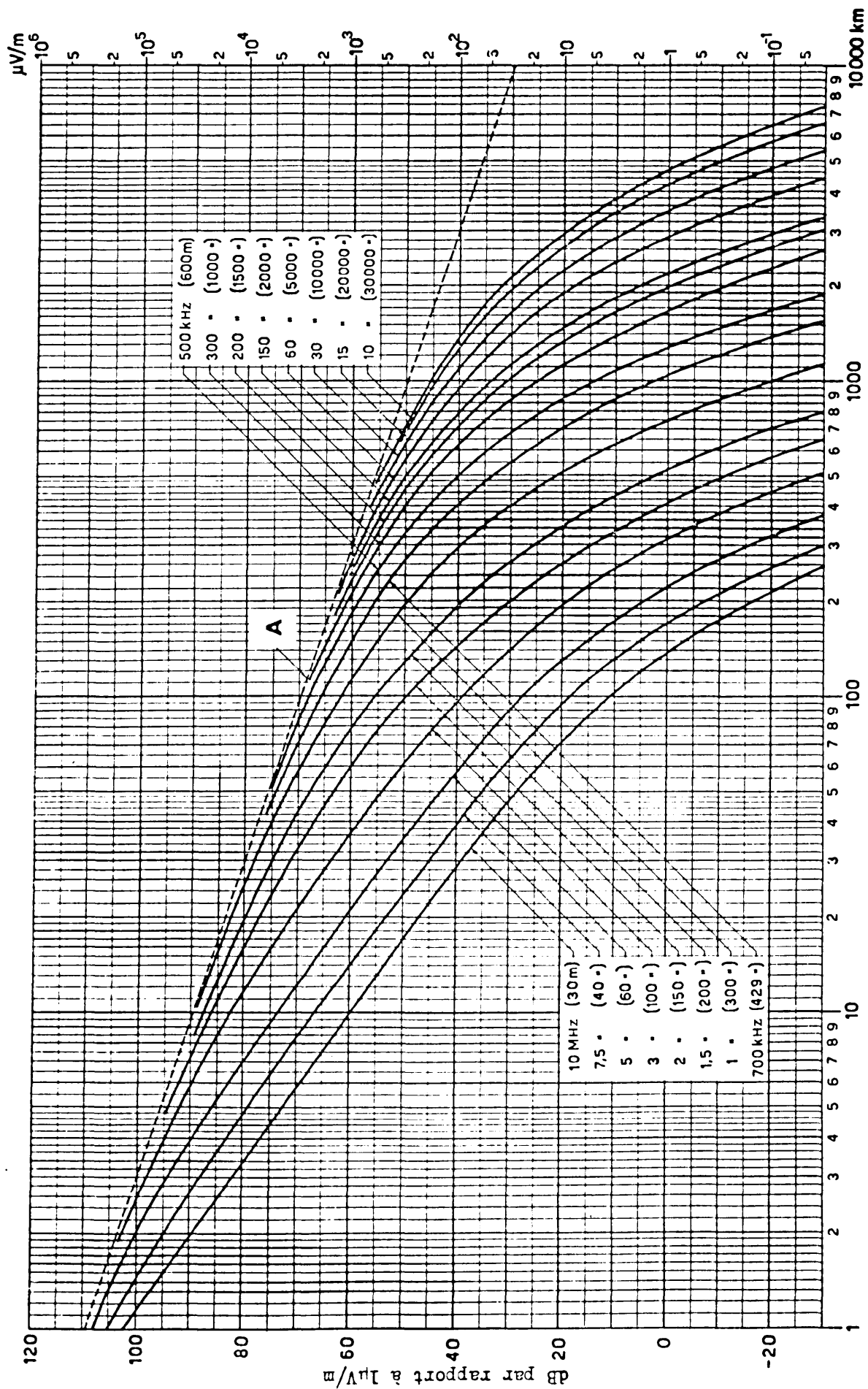


FIGURE 2
 Courbes de propagation de l'onde de sol; Terre, $\sigma = 3 \times 10^{-8}$ S/m, $\epsilon = 4$
 A: Inverse de la distance

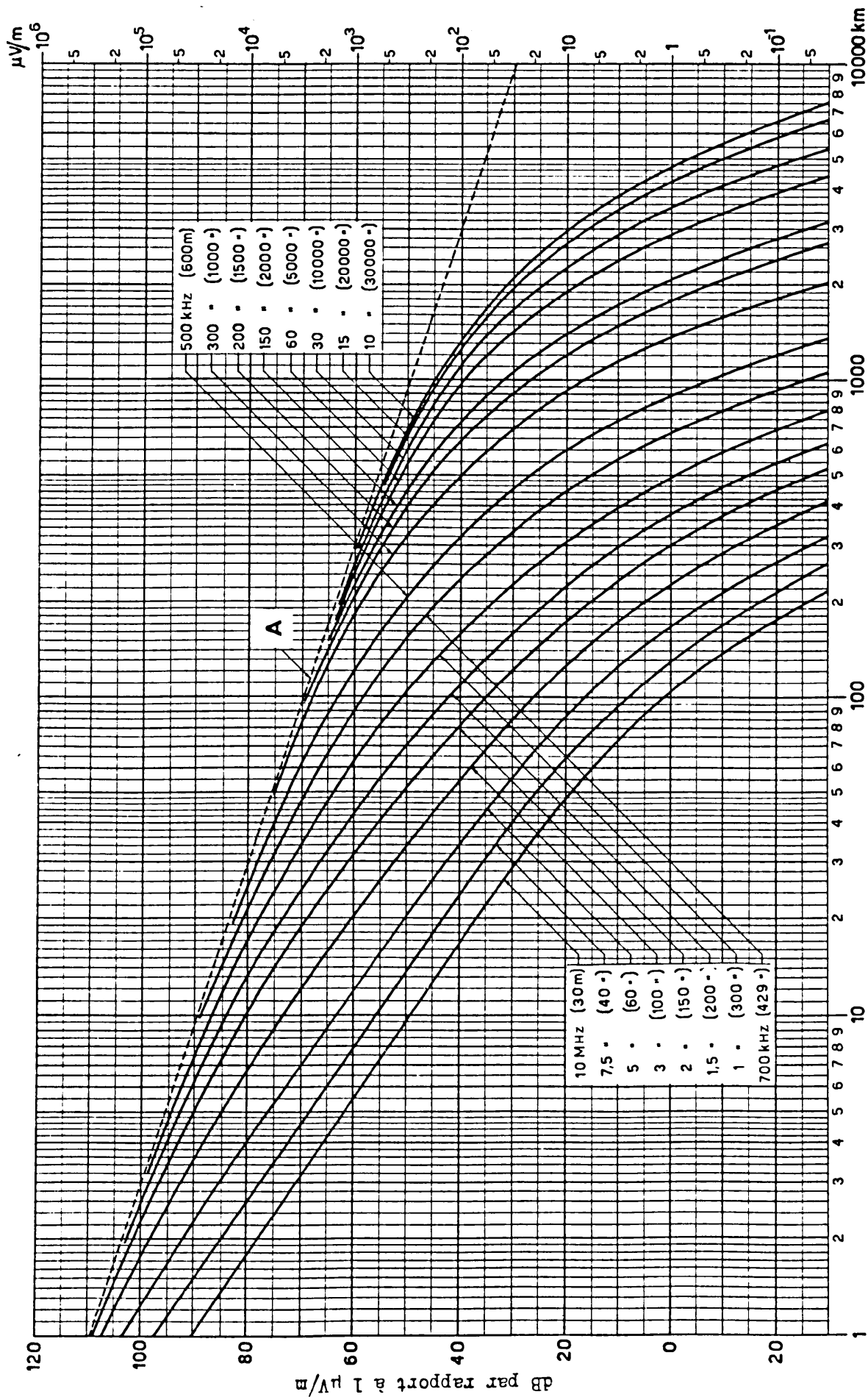


FIGURE 3
 Courbes de propagation de l'onde de sol; Terre, $\sigma = 10^{-2}$ S/m, $\epsilon = 4$
 A: Inverse de la distance

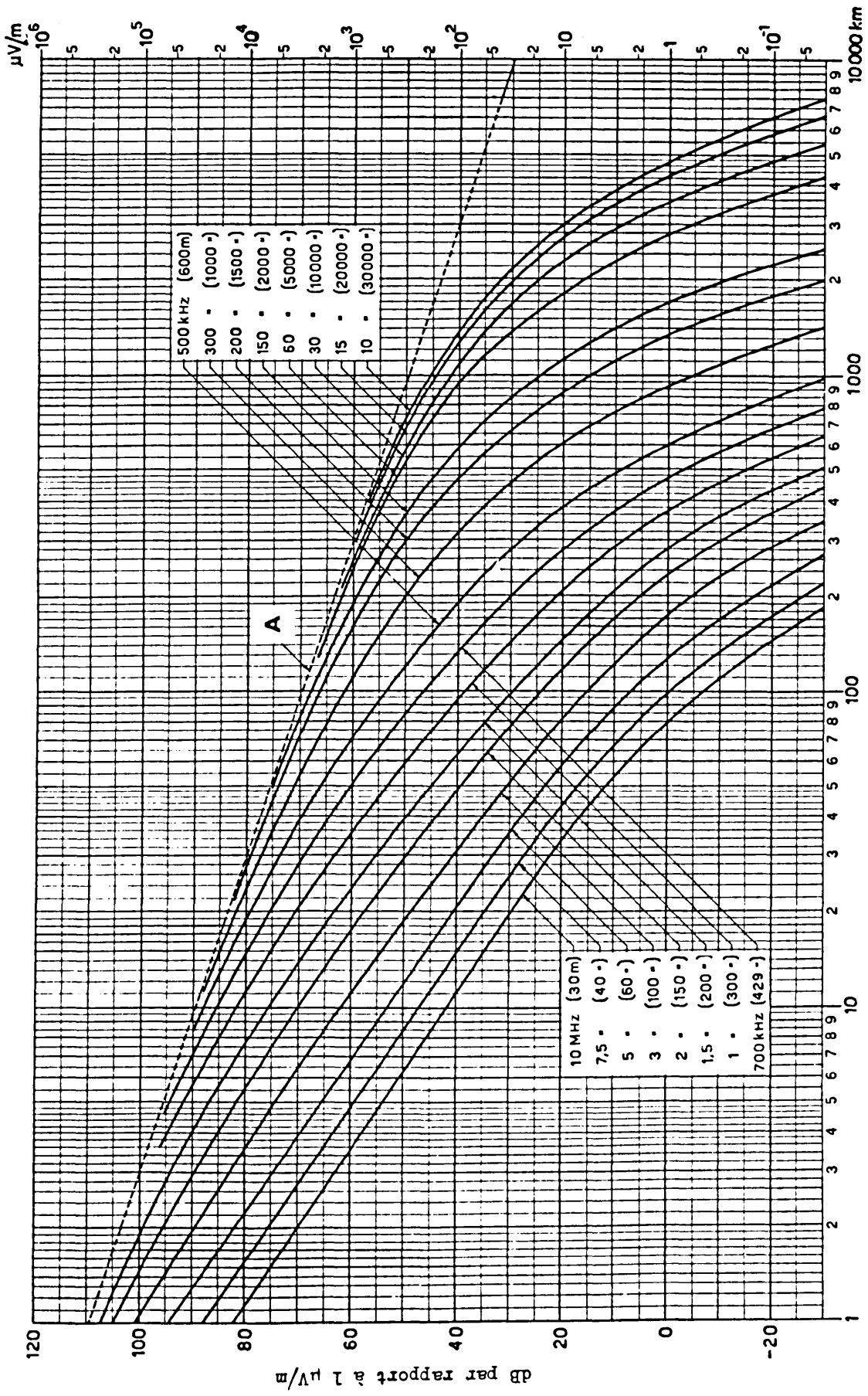


FIGURE 4
 Courbes de propagation de l'onde de sol; Terre, $\sigma = 3 \times 10^{-3} \text{ S/m}$, $\epsilon = 4$
 A: Inverse de la distance

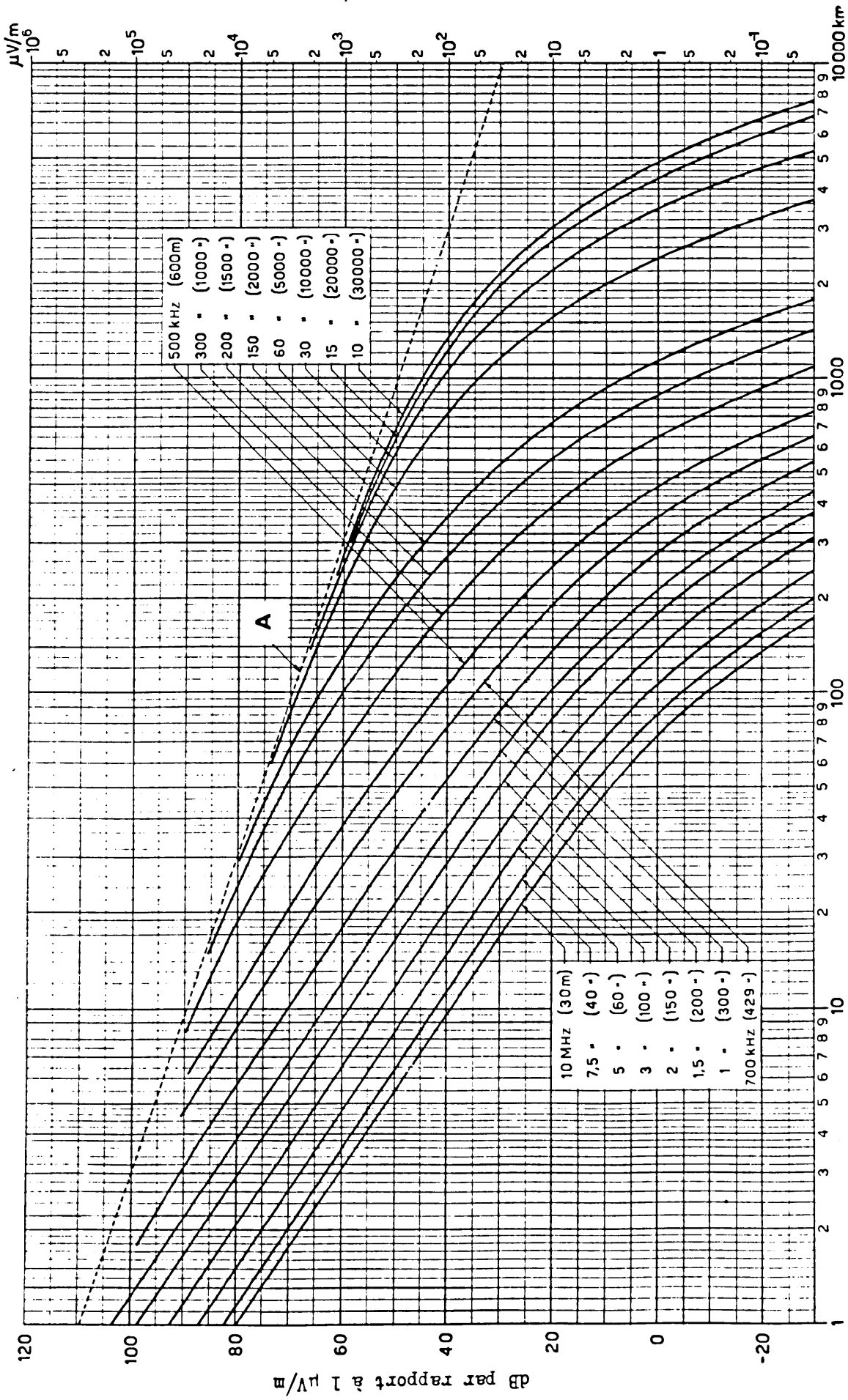


FIGURE 5
Courbes de propagation de l'onde de sol; Terre, $\sigma = 10^{-3}$ S/m, $\epsilon = 4$
A: Inverse de la distance

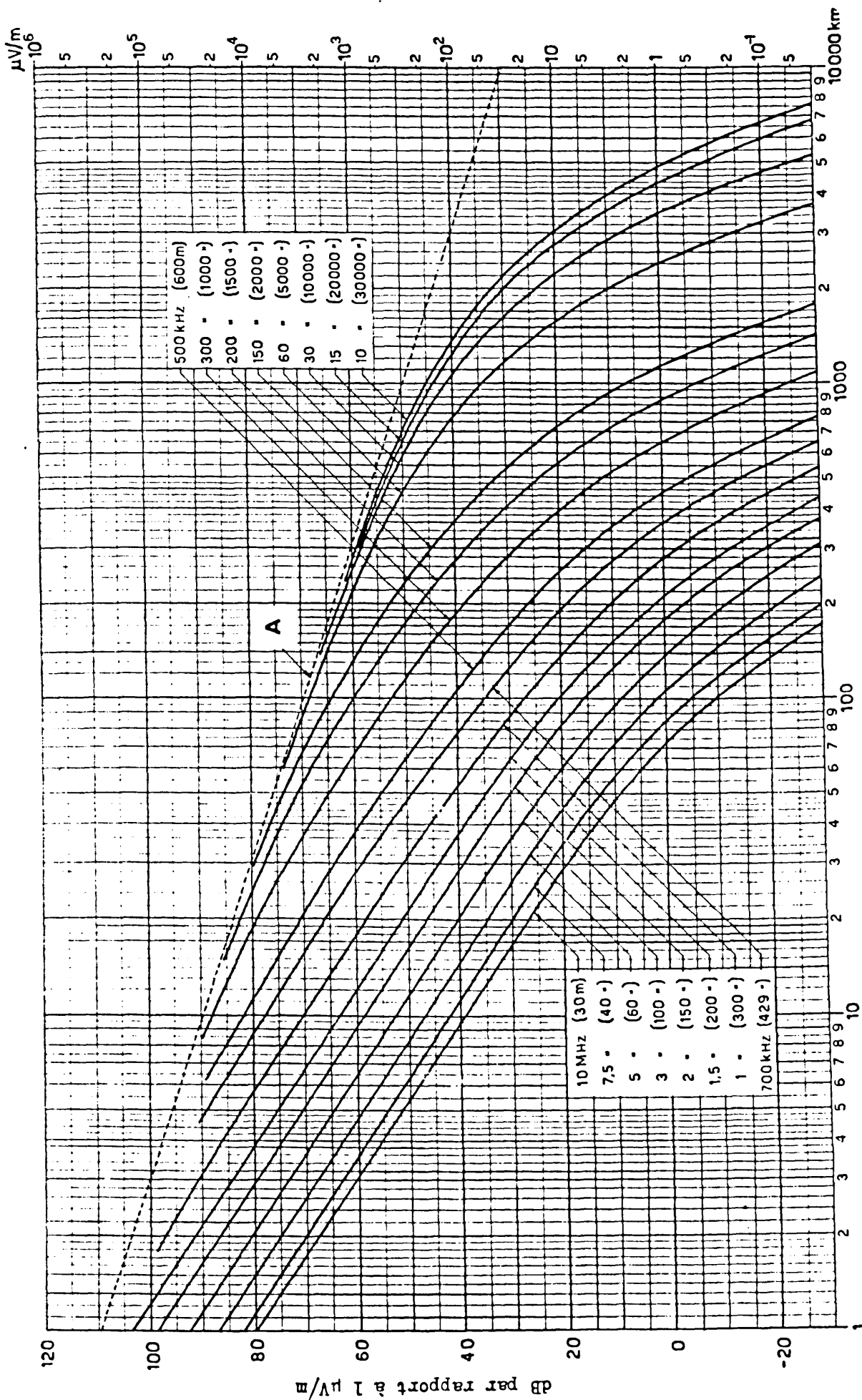


FIGURE 6
 Courbes de propagation de l'onde de sol; Terre, $\sigma = 10^{-4}$ S/m, $\epsilon = 4$
 A: Inverse de la distance

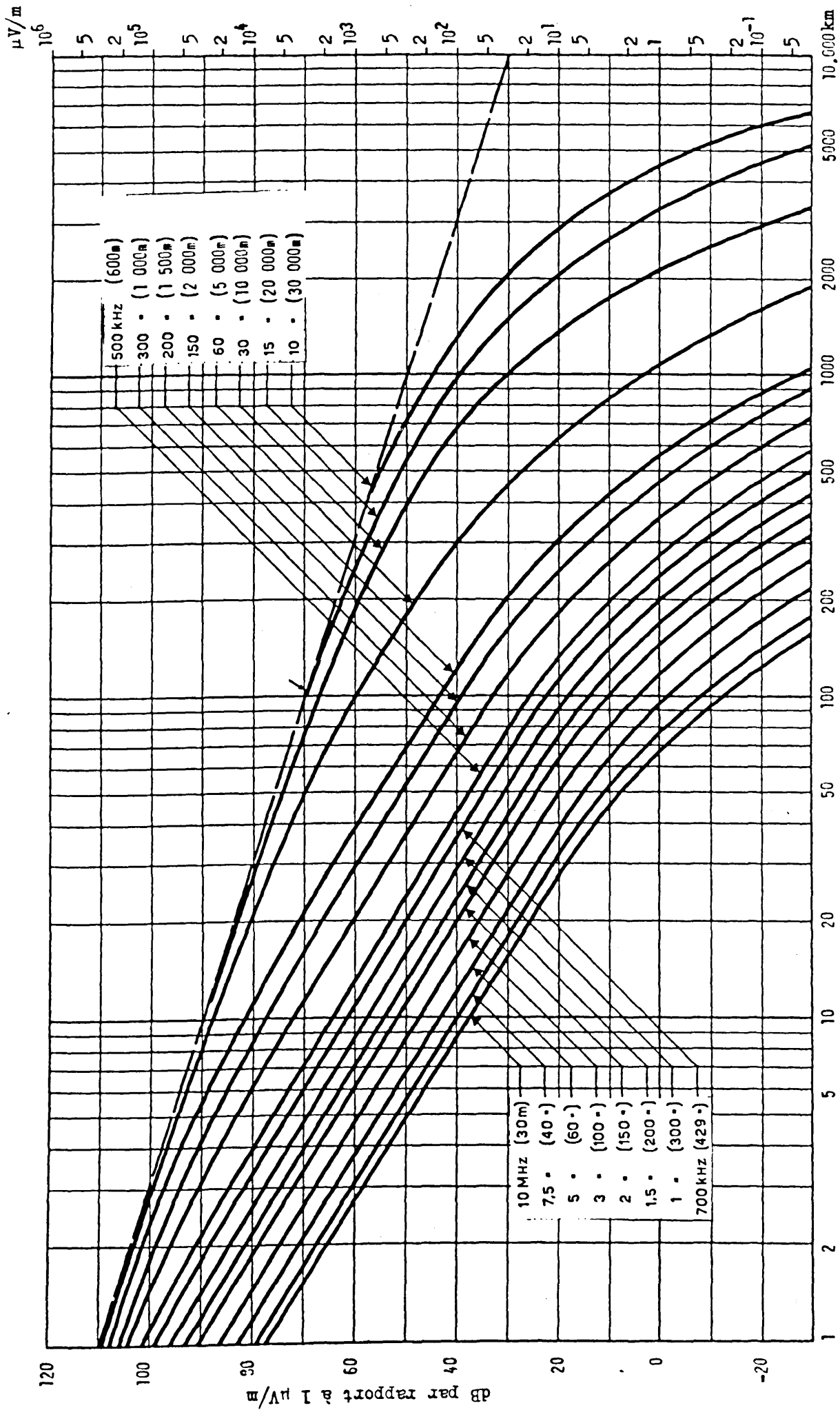


FIGURE 7

COURBES DE PROPAGATION DE L'ONDE DE SOL. TERRE $\phi = 10^{-4}$ S/m $\epsilon = 4$

A = Inverse de la distance

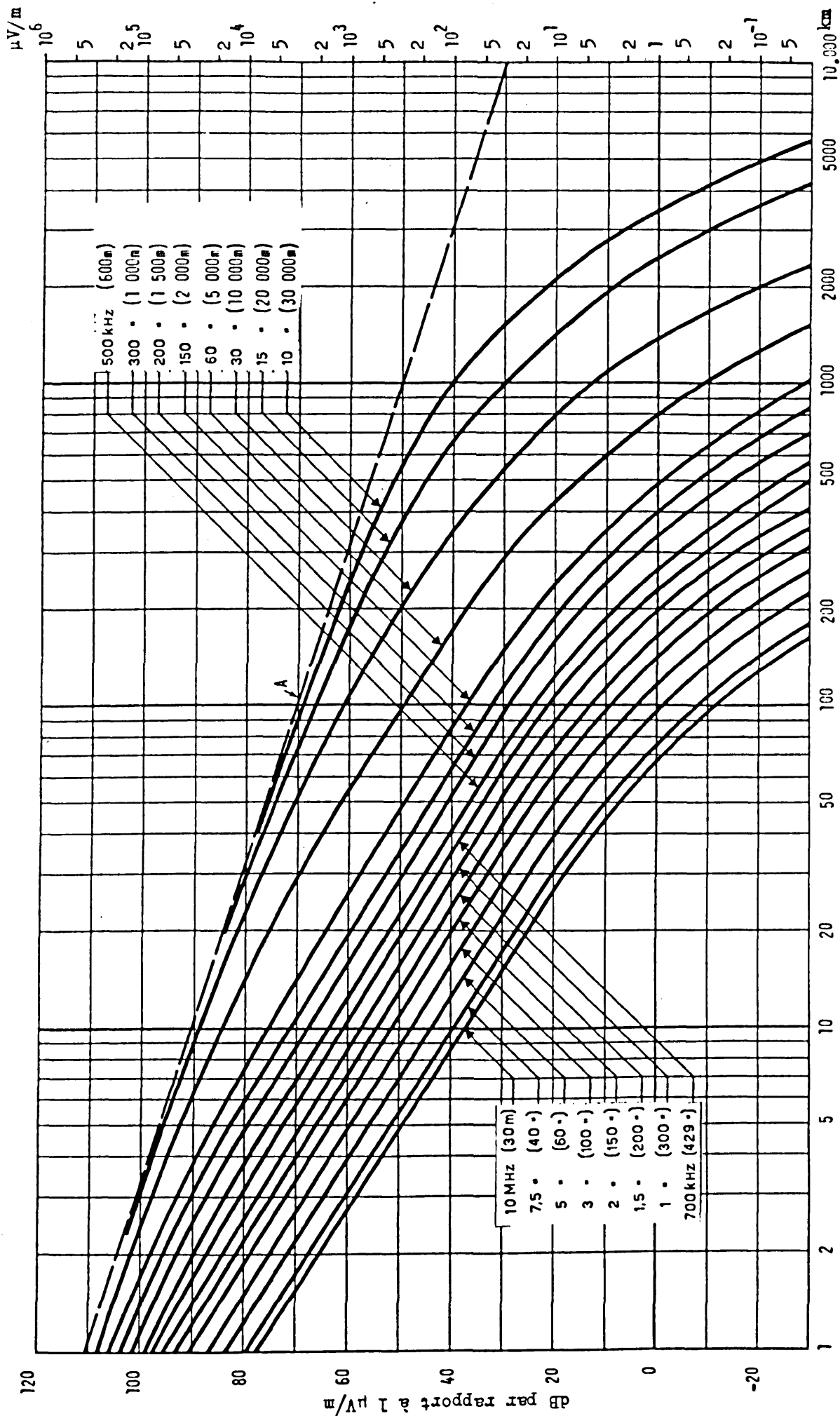


FIGURE 8

COURBES DE PROPAGATION DE L'ONDE DE SOL. TERRE $\rho = 3 \times 10^{-5} \text{ S/m}$ $\epsilon = 4$

A = inverse de la distance

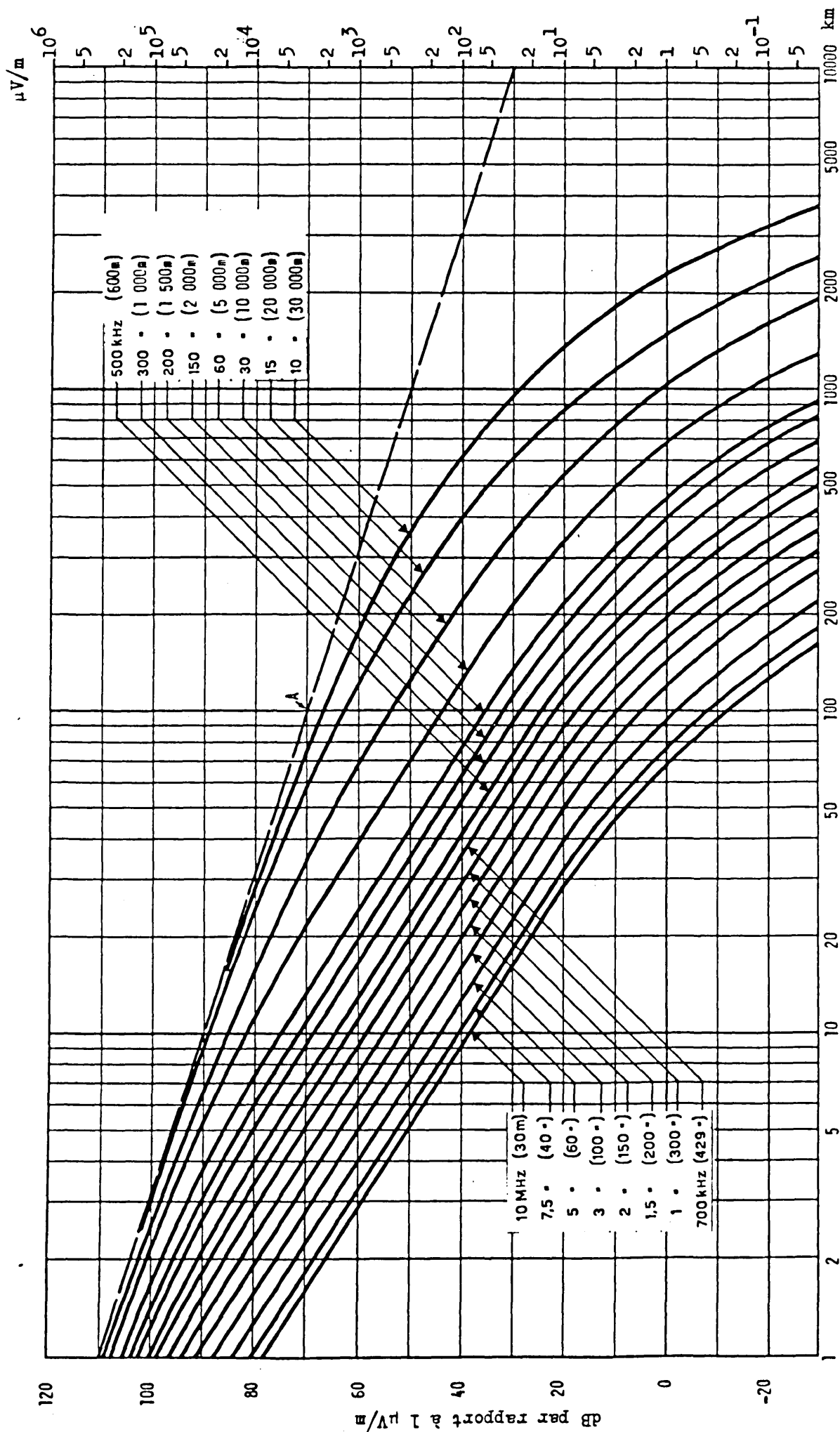


FIGURE 9

COURBE DE PROPAGATION DE L'ONDE DE SOL. TERRE $\sigma = 10^{-5} S/m$ $\epsilon = 4$

A = Inverse de la distance

A V I S

AVIS 372-1

UTILISATION DES DONNEES SUR LE BRUIT RADIOELECTRIQUE

(1951-1953-1956-1959-1963-1974)

Le C.C.I.R.,

EMET A L'UNANIMITE L'AVIS

que, pour évaluer l'intensité ou d'autres caractéristiques du bruit radio-électrique d'origine industrielle et naturelle, on utilise les renseignements contenus dans les Rapports 258-2 et 322-1 jusqu'à ce que l'on dispose de données nouvelles justifiant une révision de ces Rapports.

AVIS 448-1

RADIODIFFUSION SONORE EN ONDES KILOMETRIQUES
ET HECTOMETRIQUES (BANDES 5 ET 6)

Rapport de protection aux fréquences radioélectriques
(Programme d'études 25A-1/10)

(1966-1974)

Le C.C.I.R.,

EMET A L'UNANIMITE L'AVIS

que, pour des émissions sur la même fréquence (à ± 50 Hz près) en ondes hectométriques et kilométriques, le rapport de protection aux fréquences radioélectriques (tel qu'il est défini dans l'Avis 447) devrait être de 40 dB dans le cas de signaux utiles et brouilleurs stables (ondes de sol).

Dans le cas d'un signal utile stable et d'un signal brouilleur fluctuant (onde ionosphérique) le rapport de protection aux fréquences radioélectriques devrait être de 40 dB à minuit pour au moins 50 % des nuits d'une année.

Les valeurs du rapport de protection aux fréquences radio-électriques spécifiées ci-dessus permettront une excellente qualité de réception. Toutefois, aux fins de la planification, on peut être obligé d'utiliser des valeurs plus faibles. Certains pays et certaines organisations ont fait des propositions à cet égard (voir le Rapport 298-3).

ANNEXE

Cette valeur de 40 dB tient compte de l'effet subjectif des fluctuations à court terme du signal brouilleur (voir également le Rapport 298-3 et § 3.2 du Rapport 264-3), et correspond au rapport du champ utile à la médiane annuelle des médianes horaires du champ brouilleur à 24 heures (heure locale au point milieu du trajet).

La protection ainsi définie est assurée :

- pendant 50 % des nuits à 24 h 00, (heure locale),
- pendant plus de 50 % des nuits entre le coucher du soleil et minuit et entre 03 h 00 et le lever du soleil dans la Zone européenne de radiodiffusion,

- pendant plus de 50 % des nuits entre le coucher du soleil et 21 h 00 et entre minuit et le lever du soleil en Australie,
- pendant 100 % des jours pendant les heures diurnes.

Note 1. - Ce rapport de protection de 40 dB est relatif à un champ minimal utilisable variable suivant les régions et avec la fréquence. En Zone européenne, ce champ minimal est de l'ordre de 1 mV/m.

Note 2. - Aux Etats-Unis d'Amérique du Nord, lorsque les signaux utiles et brouilleurs sont stables (onde de sol), le rapport de protection aux fréquences radioélectriques est de 26 dB pour des émissions sur la même fréquence. Lorsque le signal brouilleur est fluctuant (onde ionosphérique), ce même rapport de protection s'entend pour 90 % des nuits d'une année, calculé pour la deuxième heure après le coucher du soleil. Le champ minimal utilisable est de 100 μ V/m ou 500 μ V/m suivant la classe du service.

AVIS 498

RADIODIFFUSION SONORE EN ONDES KILOMETRIQUES

ET HECTOMETRIQUES (BANDES 5 ET 6)

Brouillages dus à la transmodulation ionosphérique

(Programme d'études 25E-1/10)

(1974)

Le C.C.I.R.,

CONSIDERANT

que la transmodulation ionosphérique, et par conséquent des brouillages prohibitifs, peuvent résulter d'un rayonnement trop important vers l'ionosphère,

EMET L'AVIS*

que le rayonnement maximal admissible sous n'importe quel angle de site doit être tel que la gêne due à la transmodulation ionosphérique ne dépasse pas celle qui est admise pour le brouillage dans le même canal (voir l'Avis 448-1).

Note.- Pour la détermination du rayonnement maximal en fonction de l'angle de site, voir le Rapport 460-1.

* La République Populaire de Chine et le Royaume-Uni réservent leur opinion sur cet Avis.

AVIS 499

RADIODIFFUSION SONORE EN ONDES KILOMETRIQUES ET
HECTOMETRIQUES (BANDES 5 ET 6)

Définitions des valeurs spécifiques des champs et de
la zone de service

(1974)

Le C.C.I.R.

EMET A L'UNANIMITE L'AVIS

que les définitions suivantes devraient être utilisées, en radiodiffusion sonore en ondes kilométriques et hectométriques :

1. Champ minimal utilisable ($E_{\min}$)*

Valeur minimale du champ d'un émetteur pour que le signal puisse être utilisé dans des conditions spécifiées en présence de bruit (naturel et artificiel), mais en l'absence de brouillage dû à d'autres émetteurs.

La valeur du champ minimal utilisable dépend entre autres de :

- la fréquence;
 - l'heure et la saison;
 - la région géographique;
 - la valeur du rapport de protection contre le bruit;
 - la bande passante du récepteur.
- } voir le Rapport 322-1

Pour la radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques (bandes 5 et 6), dans les zones à forte densité de population, le bruit artificiel est généralement plus gênant que le bruit naturel. Les plans de fréquence doivent donc en tenir compte.

2. Champ nominal utilisable (E_{nom})**

Valeur minimale conventionnelle du champ d'un émetteur pour que le signal puisse être utilisé dans des conditions spécifiées en présence de bruit et de brouillage dus à d'autres émetteurs.

* Ce champ minimal utilisable correspond exactement au "champ à protéger" qui figure dans des nombreux textes du C.C.I.R. S'il n'y a aucune ambiguïté, on peut utiliser l'expression "champ minimal".

** S'il n'y a aucune ambiguïté, on peut utiliser l'expression "champ nominal".

Diverses études montrent, qu'en présence de brouillage dû à d'autres émetteurs, il est préférable, pour l'utilisation optimale du spectre, que la zone de service (voir § 4) soit limitée par les brouillages plutôt que par le bruit. La valeur du champ nominal utilisable est celle utilisée comme valeur de référence pour la planification.

3. Champ utilisable (E_u)

Valeurs minimales du champ d'un émetteur pour que le signal puisse être utilisé dans des conditions spécifiées, en présence de bruit et de brouillage, dans une situation réelle (ou résultant d'un Plan de fréquences).

On peut l'exprimer par la formule :

$$E_u = \sqrt{\sum_i (a_i E_{ni})^2 + E_{\min}^2}$$

E_{ni} : champ de l'émetteur brouilleur, i (en $\mu V/m$)*

$E_{\min}$: champ minimal utilisable (en $\mu V/m$)

a_i : rapport de protection RF associé à chaque brouilleur (en valeur numérique).

Dans le cas général, le champ utilisable est différent pour chaque émetteur. Par exemple pour deux émetteurs fonctionnant dans le même canal mais avec des puissances différentes, le champ utilisable sera plus élevé pour l'émetteur qui a la plus faible puissance.

4. Zone de service (d'un émetteur de radiodiffusion)

Zone à l'intérieur de laquelle le champ d'un émetteur est supérieur ou égal au champ utilisable.

Eventuellement on précisera le pourcentage du temps pendant lequel cette condition est remplie.

Cette zone peut être différente le jour et la nuit ou varier avec d'autres facteurs.

* En cas de fluctuations du champ brouilleur, le pourcentage du temps pendant lequel la valeur de E_{ni} est dépassée est une des conditions à spécifier.

R A P P O R T S

RAPPORT 229-2*

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DE LA SURFACE DE LA TERRE

(Question 1-2/5)

(1959 - 1963 - 1970 - 1974)

1. Introduction

Ce projet de Rapport discute les facteurs physiques dont dépendent les caractéristiques électriques de la surface de la Terre, passe en revue les méthodes qui ont été employées pour déterminer les constantes du sol et donne une appréciation sur la valeur de ces méthodes par rapport aux procédés de calculs de la propagation radioélectrique : on trouvera dans les documents de la XI^e Assemblée plénière du C.C.I.R., Oslo, 1966, Vol. II, page 74, une liste bibliographique des publications consacrées à ce problème.

2. Les caractéristiques du sol

Les propriétés électriques du sol ou de tout autre milieu peuvent s'exprimer par trois constantes qui sont la perméabilité relative, la constante diélectrique et la conductivité. On peut considérer que la perméabilité relative est normalement égale à l'unité; les problèmes de propagation ne font donc intervenir que la constante diélectrique et la conductivité. Ces deux constantes influent l'une et l'autre sur la propagation des ondes conformément à l'expression suivante qui donne, par rapport au vide, la constante diélectrique complexe :

$$\epsilon' = \epsilon - j \, 18 \, 000 \, \sigma / f = \epsilon - j \, 60 \sigma \lambda$$

σ étant exprimée en S/m, f étant la fréquence en MHz, λ la longueur d'onde dans l'espace libre en mètres et le facteur de temps $\exp(j \omega t)$ étant sous-entendu. On peut noter que les densités des courants de déplacement et de conduction sont, entre elles, dans le même rapport que ϵ et $60 \sigma \lambda$, ce qui permet de juger de leur importance relative. Les Fig. 1 et 2 donnent des valeurs typiques des constantes du sol en fonction de la fréquence. Aux fréquences supérieures à 100 MHz, on constate une variation de la constante diélectrique en fonction de la fréquence, ainsi que de la conductivité globale (dipolaire et ionique) [1]. On notera, de plus, que l'on a souvent utilisé une valeur de 80 pour la constante diélectrique de l'eau de mer dans une gamme étendue de fréquences. Or cette valeur est incorrecte, sauf lorsqu'il s'agit de basses températures et de fréquences inférieures à environ 1 GHz. La valeur réelle, même pour des fréquences relativement basses, dépend de la température et de la composition de l'eau de mer.

* Adopté à l'unanimité.

Les valeurs de la conductivité indiquées pour les types de surface spécifiés dans les Fig. 1 et 2 sont des valeurs moyennes. Etant donné les différences que l'on constate dans les diverses parties du monde, la conductivité peut varier d'une façon considérable. Les valeurs les plus élevées sont applicables aux régions fertiles, tandis que pour les régions montagneuses et les régions arctiques la conductivité aux fréquences inférieures à 100 MHz peut s'abaisser jusqu'à 10^{-2} S/m. L'eau des lacs et des fleuves présente une conductivité qui augmente avec la teneur en impuretés.

3. Facteurs influant sur la valeur des constantes du sol

La valeur équivalente des constantes du sol dépend, non seulement de la nature du sol, mais aussi de sa teneur en humidité et de sa température; les autres facteurs qui interviennent sont la fréquence, la structure géologique générale du terrain, ainsi que la profondeur équivalente de pénétration et l'étalement latéral des ondes. Il faut aussi tenir compte de l'absorption d'énergie par la végétation, les bâtiments et autres objets à la surface du sol.

3.1 Nature du sol

De nombreuses mesures ont permis d'établir que les constantes varient avec la nature du sol; il semble cependant probable que cette variation est due, moins à la composition chimique du sol qu'à ses propriétés d'absorption et de rétention de l'humidité. La conductivité de l'argile est normalement de l'ordre de 10^{-2} S/m; or on a pu montrer que, pour l'argile séchée, la conductivité peut descendre jusqu'à 10^{-4} S/m, c'est-à-dire à une valeur du même ordre que celle du granit.

3.2 Teneur en humidité

La teneur du sol en humidité est probablement le paramètre qui influe le plus sur la valeur de ses constantes électriques. Des mesures effectuées au laboratoire ont montré que, si l'on fait croître la teneur en humidité à partir d'une faible valeur, les constantes augmentent rapidement et deviennent maximales pour des teneurs en humidité voisines de celles qu'on rencontre normalement dans les sols réels correspondants. Il semble que, en un lieu donné, l'humidité du sol reste très sensiblement constante toute l'année à des profondeurs égales ou supérieures à 1 m; il peut y avoir une augmentation de cette humidité pendant les chutes de pluie, mais une fois que la pluie a cessé, l'écoulement des eaux ainsi que l'évaporation en surface ont tôt fait de la ramener à sa valeur normale. Toutefois, un même sol peut présenter des variations d'humidité considérables d'un lieu à un autre, par suite des différences entre les structures géologiques générales ayant, comme conséquence, un écoulement plus ou moins rapide des eaux.

3.3 Température

Des mesures de laboratoire portant sur les constantes du sol ont montré que, aux fréquences basses, le coefficient de température de la conductivité est de l'ordre de 2 % par degré centigrade; ce coefficient est négligeable dans le cas de la constante diélectrique. Au point de congélation de l'eau, on observe généralement une substantielle diminution de la valeur des deux constantes. Bien que les variations dont il s'agit soient appréciables, il convient de se rappeler que la température varie annuellement dans des limites de plus en plus étroites lorsque la profondeur augmente, aussi est-il vraisemblable que la température n'a une influence notable qu'aux fréquences élevées pour lesquelles la pénétration des ondes est faible (voir le § 3.5), ou encore lorsque le sol est gelé sur une grande profondeur.

3.4 Fréquence

Des mesures de laboratoire sur des échantillons de sol ont montré qu'il y a une variation des constantes avec la fréquence qui dépend sensiblement de sa teneur en humidité. Cette variation est particulièrement marquée au-delà de 1 GHz, comme le montrent les Fig. 1 et 2. Dans le cas de l'eau douce et de l'eau de mer, on peut se fonder sur les renseignements contenus dans l'ouvrage [1] pour calculer les valeurs correspondant à une fréquence quelconque.

3.5 Structure géologique générale

D'une manière générale, les terrains au-dessus desquels s'effectue la propagation ne sont pas homogènes et les constantes équivalentes dépendent donc de plusieurs types de sol différents. C'est pourquoi il est important de connaître exactement la structure géologique d'ensemble de la région qu'on étudie. Dans une zone donnée, ou le long d'un parcours donné, les constantes équivalentes dépendent, non seulement de la nature des sols formant la couche superficielle, mais aussi des couches sous-jacentes. Ces dernières peuvent faire partie du milieu que traversent les ondes; elles peuvent avoir encore une influence indirecte, en déterminant le niveau des eaux dans les couches supérieures.

3.6 Pénétration et étalement des ondes

La mesure dans laquelle les couches inférieures du sol influent sur la valeur de ses constantes électriques dépend de la profondeur de pénétration de l'énergie radioélectrique, δ , que l'on définit comme celle à laquelle l'intensité de l'onde est affaiblie dans le rapport $1/e$ (soit 37 %) de la valeur qu'elle avait à la surface. La profondeur de pénétration dépend des constantes électriques du sol et de la fréquence. La Fig. 3 donne ces valeurs en fonction de la fréquence pour des valeurs moyennes des constantes électriques du sol.

La Fig. 3 montre que la profondeur de pénétration varie considérablement avec la fréquence. Aux fréquences inférieures (et sauf dans le cas de l'eau de mer), il convient de tenir compte des couches profondes jusqu'à 100 m ou davantage. Ce fait est d'une importance particulière lorsque les couches supérieures ont une conductivité plus faible et que l'énergie peut pénétrer plus aisément dans les couches inférieures.

L'énergie radioélectrique reçue en un point donné ne s'est pas propagée uniquement le long du parcours qui relie directement ce point à l'émetteur; elle s'est propagée également sur un grand nombre de parcours indirects répartis de part et d'autre du précédent. Il faut donc considérer les constantes du sol, non seulement le long du parcours direct lui-même, mais aussi dans tout le domaine où se produit l'étalement latéral des ondes. Il n'est pas possible d'assigner des limites précises à ce domaine; on a cependant émis l'hypothèse qu'il coïncide, en fait, avec la première zone demi-onde de Fresnel, c'est-à-dire avec l'ellipse dont les foyers sont situés à l'émetteur et au récepteur et dont les axes sont respectivement $(D + \lambda/2)$ et $\sqrt{D\lambda}$, D étant la longueur du trajet direct et λ la longueur d'onde.

3.7 Absorption de l'énergie par les objets à la surface de la Terre

Les objets se trouvant à la surface de la Terre n'influent pas directement sur la valeur des constantes du sol, mais ils peuvent participer dans une mesure importante à l'affaiblissement des ondes de sol; on peut tenir compte de ces pertes d'énergie en utilisant dans les calculs de propagation des valeurs appropriées des constantes du sol.

On obtient des valeurs particulièrement élevées de l'affaiblissement lorsque la transmission se fait au-dessus d'un terrain boisé, comme le montre la Fig. 4 [2, 3, 4, 6]. Cet affaiblissement peut être encore plus grand lorsque les arbres sont couverts de neige mouillée ou lorsque leurs feuilles sont mouillées par la pluie.

4. Méthodes de mesure des constantes du sol

Les méthodes ci-après ont été employées pour mesurer une des constantes ou les deux.

4.1 Mesure de laboratoire sur des échantillons de sol

Pour déterminer la valeur de la constante diélectrique et de la conductivité d'échantillons de sol, on mesure la résistance et la réactance de condensateurs dont ces échantillons constituent le diélectrique. On a employé cette méthode pour des mesures sur l'eau de mer et sur un grand nombre de sols différents, y compris des roches, principalement aux fréquences comprises entre 1 kHz et 10 MHz.

4.2 Mesure de la résistivité du sol par utilisation de sondes

Pour connaître la conductivité, on mesure, sur le terrain, la résistance entre des sondes qu'on enfonce dans le sol. De telles mesures sont effectuées le plus souvent en courant continu, avec un système de quatre sondes; on fait passer un courant entre deux de ces sondes et on mesure la différence de potentiel qui en résulte entre les deux autres. La profondeur jusqu'à laquelle ces mesures donnent des résultats significatifs dépend de l'espacement entre les sondes; en effectuant une série de mesures avec des espacements différents, on pourra déterminer l'épaisseur de la couche superficielle ou la hauteur de la nappe aquifère.

On a encore obtenu la conductivité en mesurant l'impédance mutuelle entre les deux lignes parallèles, posées à la surface du sol ou immédiatement au-dessus de cette surface et dont les extrémités sont mises à la terre.

4.3 Méthode utilisant l'inclinaison des ondes

Le principe de cette méthode repose sur le fait que les pertes à la surface du sol donnent naissance à une faible composante radiale du vecteur champ électrique. En général, ce champ est polarisé elliptiquement et le grand axe de l'ellipse est incliné vers l'avant en raison du flux de puissance qui pénètre dans le sol. Cette méthode exige une mesure précise du rapport des axes et de l'inclinaison de l'ellipse vers l'avant, à l'aide d'un dipôle orientable. Lorsque la surface du sol n'est pas horizontale, il convient de mesurer l'angle d'inclinaison vers l'avant par rapport à la normale à la surface et non par rapport à la verticale. On a indiqué que, si cette méthode est mise en oeuvre de façon appropriée, elle permet de mesurer les constantes du sol dans une gamme de fréquences allant de 100 kHz à 40 MHz.

La méthode utilisant l'inclinaison des ondes a été employée avec succès pour mesurer les non-homogénéités de la surface terrestre dans le sens horizontal. On commet toutefois des erreurs lorsque les mesures sont faites au voisinage de régions caractérisées par d'importants gradients horizontaux de conductivité, comme dans le cas du passage de la terre à la mer ou du passage d'un sol meuble à un sol marécageux.

4.4 Mesure de l'affaiblissement de l'onde de sol

On mesure l'affaiblissement d'une onde de sol en fonction de la distance et on déduit la conductivité du sol en comparant les résultats avec des courbes de propagation tirées de théories rigoureuses ou de méthodes semi-empiriques considérées comme acceptables dans le cas considéré. La méthode est applicable à toutes les fréquences.

4.5 Affaiblissement en fonction de la profondeur au-dessous de la surface du sol

Les constantes du sol peuvent être déterminées en mesurant le taux relatif d'affaiblissement du champ avec un récepteur, lorsqu'on l'abaisse au-dessous de la surface de la Terre dans un puits ou un autre orifice convenable [5].

4.6 Mesure de la variation de phase (aux fréquences basses)

Ayant mesuré la variation de la phase d'une onde de sol en fonction de la distance, on peut déduire du taux de cette variation la conductivité au-dessus d'un sol homogène. Cette méthode n'a été employée, jusqu'ici, qu'en ondes kilométriques; elle s'est révélée plus sensible que celle de la mesure des affaiblissements pour localiser des zones de discontinuité dans le terrain.

4.7 Dispersion des ondes due aux brouillages atmosphériques (aux fréquences extrêmement élevées)

Lorsqu'une impulsion, comme celles produites par certaines décharges de foudre, se propage au-dessus de la surface terrestre, la forme de l'onde est modifiée en ce sens que l'impulsion se trouve étirée à mesure que l'onde se propage. L'importance de cette dispersion dépend de la conductivité. S'il est possible de mesurer la forme de l'onde en deux points alignés avec la source, dont l'un soit assez voisin de celle-ci et l'autre éloigné, on peut établir une relation entre les changements observés et la dispersion calculée, pour plusieurs valeurs de la conductivité d'un sol homogène équivalent. Cette méthode est plus particulièrement indiquée pour les fréquences basses et pour des trajets dont la longueur est comprise entre plusieurs centaines et plusieurs milliers de kilomètres.

4.8 Mesure du coefficient de réflexion (aux fréquences basses)

Pour mesurer sur le terrain le coefficient de réflexion du sol, on emploie des méthodes comportant un rayonnement à incidence normale. Les résultats permettent d'obtenir à la fois la constante diélectrique et la conductivité, cette dernière étant toutefois déterminée avec moins de précision. La méthode ne convient que pour les fréquences élevées.

5. Application des méthodes précédentes aux problèmes de propagation

L'étude des méthodes précédentes et des facteurs dont dépend la valeur des constantes du sol montre clairement que la plupart de ces méthodes ne fournissent pas tous les renseignements nécessaires pour des calculs de propagation et que, dans certains cas, il faut effectuer toute une série de mesures.

Par exemple, les mesures en laboratoire portant sur des échantillons de sol pourront donner des renseignements précis et détaillés sur les constantes du sol dans les conditions naturelles, mais à condition que les échantillons soient en très grand nombre et qu'ils aient été prélevés aussi bien le long du trajet de propagation qu'en profondeur. Il faut encore connaître avec précision la structure géologique du sol le long du trajet, si l'on veut être à même d'utiliser les résultats de mesure pour en déduire la valeur des constantes du sol. Il est probable que cette méthode convient mieux à l'étude des variations possibles des constantes et des paramètres dont elles dépendent qu'à la détermination des caractéristiques d'un trajet donné.

La méthode par mesure de la résistivité tient mieux compte de la structure générale du terrain, mais seulement sur une surface relativement petite. Cette méthode est simple et commode à mettre en oeuvre; c'est peut-être celle qui convient le mieux dans les cas où on n'a besoin de connaître les caractéristiques du sol qu'au voisinage immédiat de l'émetteur ou du récepteur. Elle donne immédiatement la valeur des constantes à différentes profondeurs; cependant, pour évaluer l'affaiblissement dû au trajet, il faut faire des mesures en un certain nombre de points le long de ce parcours, leurs distances mutuelles dépendant de la stratification verticale du terrain.

La méthode qui repose sur la mesure de l'inclinaison des ondes tient compte, elle aussi, de la structure du terrain autour du point de mesure et donne la valeur des constantes équivalentes correspondant à la fréquence utilisée. Les résultats des mesures sont erronés au voisinage de régions caractérisées par un important gradient de conductivité ou au voisinage d'objets très conducteurs placés à la surface du sol ou enterrés. Les mesures ne devraient pas être faites trop près de l'antenne d'émission, la distance minimale à respecter étant de l'ordre de 10 longueurs d'onde pour les fréquences basses et moyennes ou une distance qui soit grande par rapport aux dimensions de l'antenne pour les fréquences élevées. La méthode devient assez peu précise au-dessous de 100 kHz, car on a affaire alors à de petits angles d'inclinaison. Du fait de la variation de l'inclinaison en fonction de la hauteur au-dessus de la surface du sol, cette méthode n'est utile que pour des fréquences inférieures à environ 40 MHz. Elle peut être utilisée pour la détermination de l'affaiblissement le long du trajet si l'on procède à une série de mesures le long de ce trajet.

La méthode par mesure de l'affaiblissement de l'onde de sol est l'une des plus complètes, étant donné qu'elle tient compte de tous les facteurs en jeu. Comme la méthode décrite au paragraphe précédent, elle permet de déterminer les variations des constantes du sol le long d'un trajet si l'on procède à une série de mesures le long de ce trajet. Cependant, les résultats sont probablement moins précis que ceux obtenus avec les méthodes qui reposent sur la mesure de la résistivité du sol ou de l'inclinaison des ondes. De plus, les résultats ne sont valables que pour le parcours considéré ou pour un parcours de caractéristiques très voisines. La méthode se prête mal à la mesure précise des constantes du sol sur certaines zones de faible étendue.

La méthode de la variation de phase tient compte, elle aussi, de tous les paramètres en jeu; il semble, en outre, qu'elle puisse donner des renseignements plus détaillés que la méthode précédente en ce qui concerne les trajets non homogènes. Par contre, elle présente l'inconvénient d'exiger une liaison auxiliaire en ondes métriques ou décimétriques comme référence de phase pour les récepteurs.

Il faut prendre certaines précautions, dans les trois dernières méthodes, afin que le champ mesuré ne soit pas influencé par les ondes ionosphériques et que les hautes végétations n'influent pas exagérément sur les résultats, à moins évidemment de vouloir étudier plus particulièrement cet effet. (Fig. 4)

Les résultats fournis par la méthode du coefficient de réflexion ne sont valables que dans une petite zone de terrain autour du point de mesure; d'autre part, comme on ne peut employer cette méthode qu'aux fréquences élevées, la profondeur du terrain sur laquelle portent les mesures est également très petite.

La méthode de dispersion est toute indiquée pour des trajets relativement longs et des fréquences basses; elle trouve, par conséquent, sa principale application dans les systèmes de navigation à fréquence basse. La méthode offre l'avantage de ne pas exiger d'émetteur, mais elle présente également l'inconvénient de ne permettre de recueillir des données que très lentement, les décharges de foudre appropriées apparaissant de façon erratique

et peu fréquemment. Cette méthode peut être appliquée quelle que soit la distance, car la méthode des impulsions permet de faire la distinction entre l'onde de sol et l'onde d'espace. Cette méthode exige un équipement plus compliqué et des calculs mathématiques plus complexes que les autres méthodes. Il semble qu'il soit nécessaire d'apporter encore des perfectionnements à cette méthode pour pouvoir surmonter certaines des difficultés indiquées.

BIBLIOGRAPHIE

1. SAXTON, J.A. et LANE, J.A. Electrical properties of sea water, Wireless Engineer [octobre 1972].
2. RICE, P.L. [1971], Some effects of buildings and vegetation on VHF/UHF Propagation, Conf. Proc. of the 1971 IEEE Mountain-West Conference on Electromagnetic Compatibility, Tucson, Arizona, [novembre 1971].
3. SAXTON, J.A. et LANE, J.A. VHF et UHF Reception, Wireless World, 61, page 229 [1955].
4. BLOMQUIST, A. Local ground-wave field strength variations in the frequency range 30 - 1 000 MHz. Proc. Conf. on Electromagnetic Wave Propagation, Bruxelles, page 127 [1958].
5. KACHPROVSKI, V. The propagation of radio waves and conductivity. Radio Journal of U.S.S.R. [1958] (en russe). Traduction en anglais du National Bureau of Standards Tl-60 [juin 1959].
6. TAMIR, T. [1967], On radio-wave propagation in forest environments, IEEE Trans. on Antennas and Prop., Vol. 15, N° 6, pages 806-817.

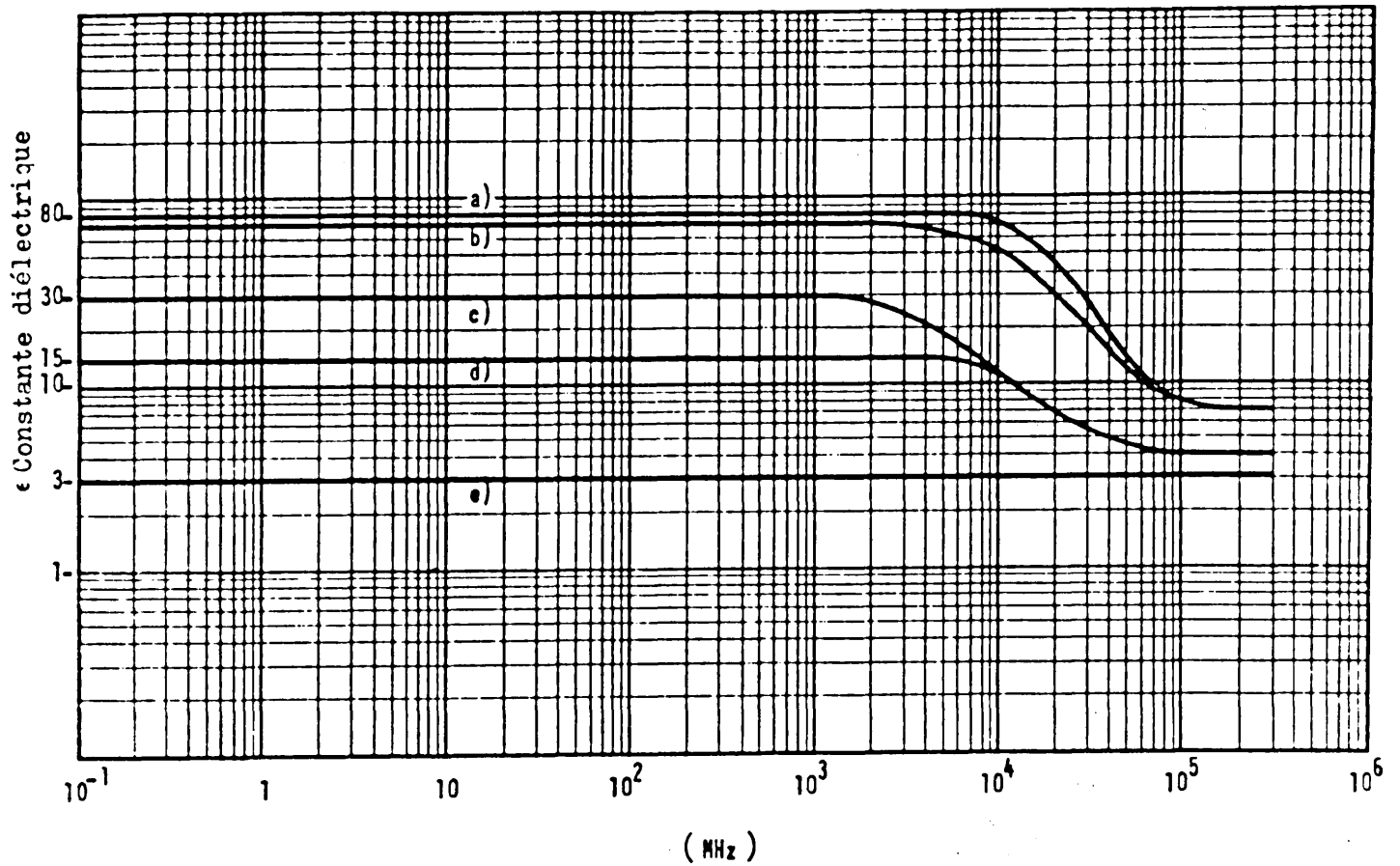
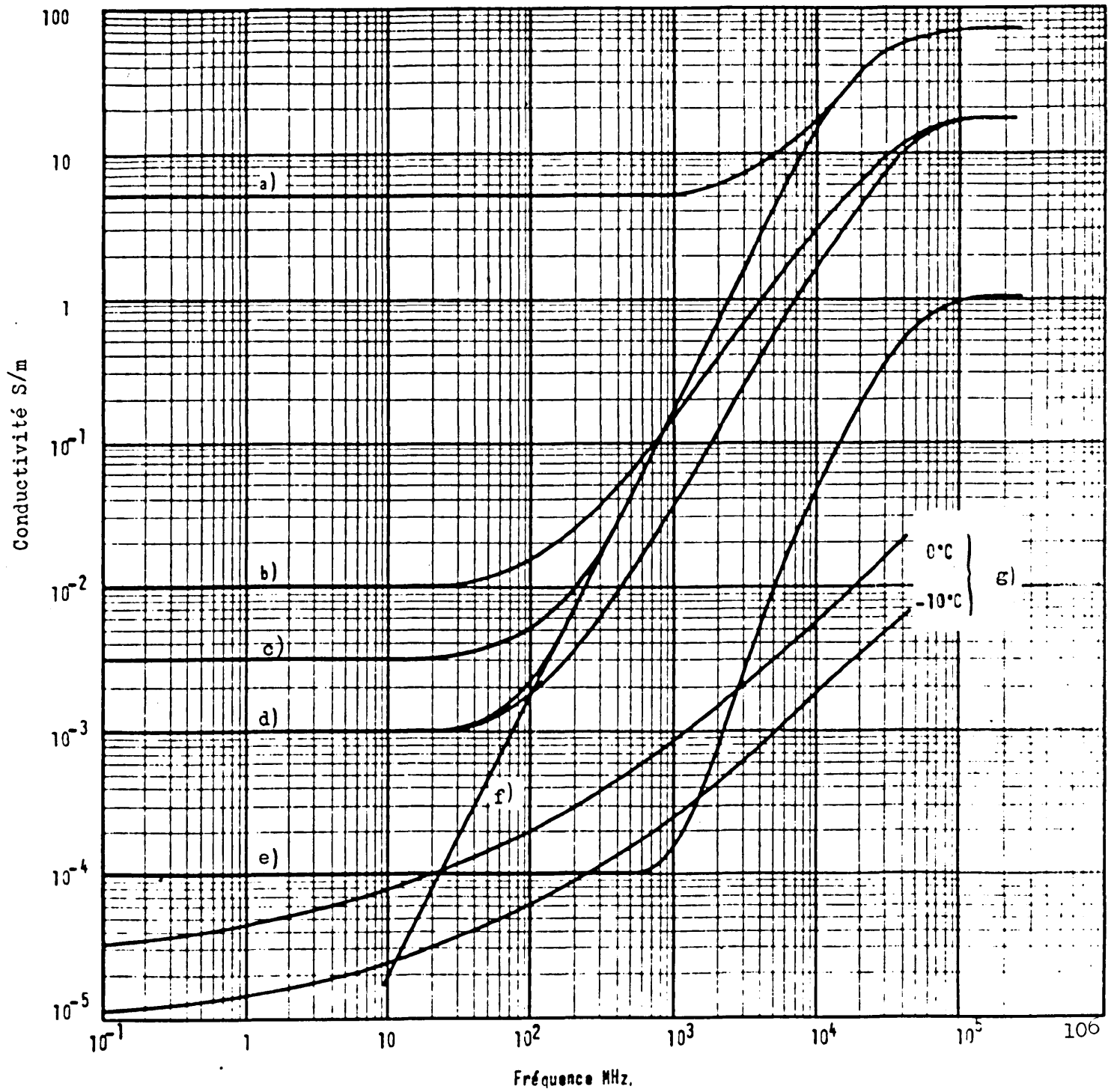


FIGURE 1

CONSTANTE DIELECTRIQUE EN FONCTION DE LA FREQUENCE

- 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



CONDUCTIVITE EN FONCTION DE LA FREQUENCE

- 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)

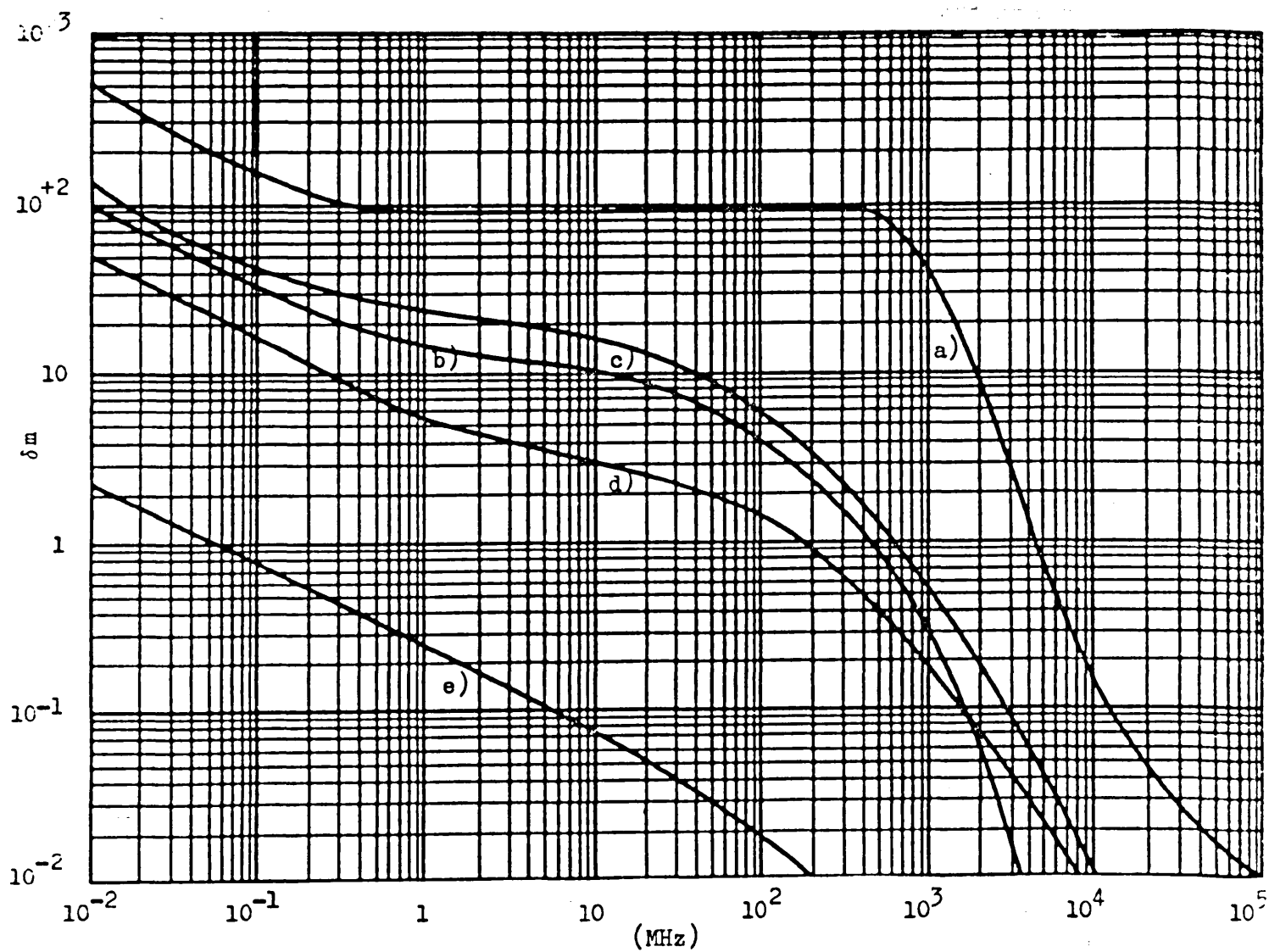


FIGURE 3

PROFONDEUR DE PENETRATION EN FONCTION DE LA FREQUENCE

- a) Sol très sec
- b) Eau douce
- c) Sol moyennement humide
- d) Sol humide
- e) Eau de mer

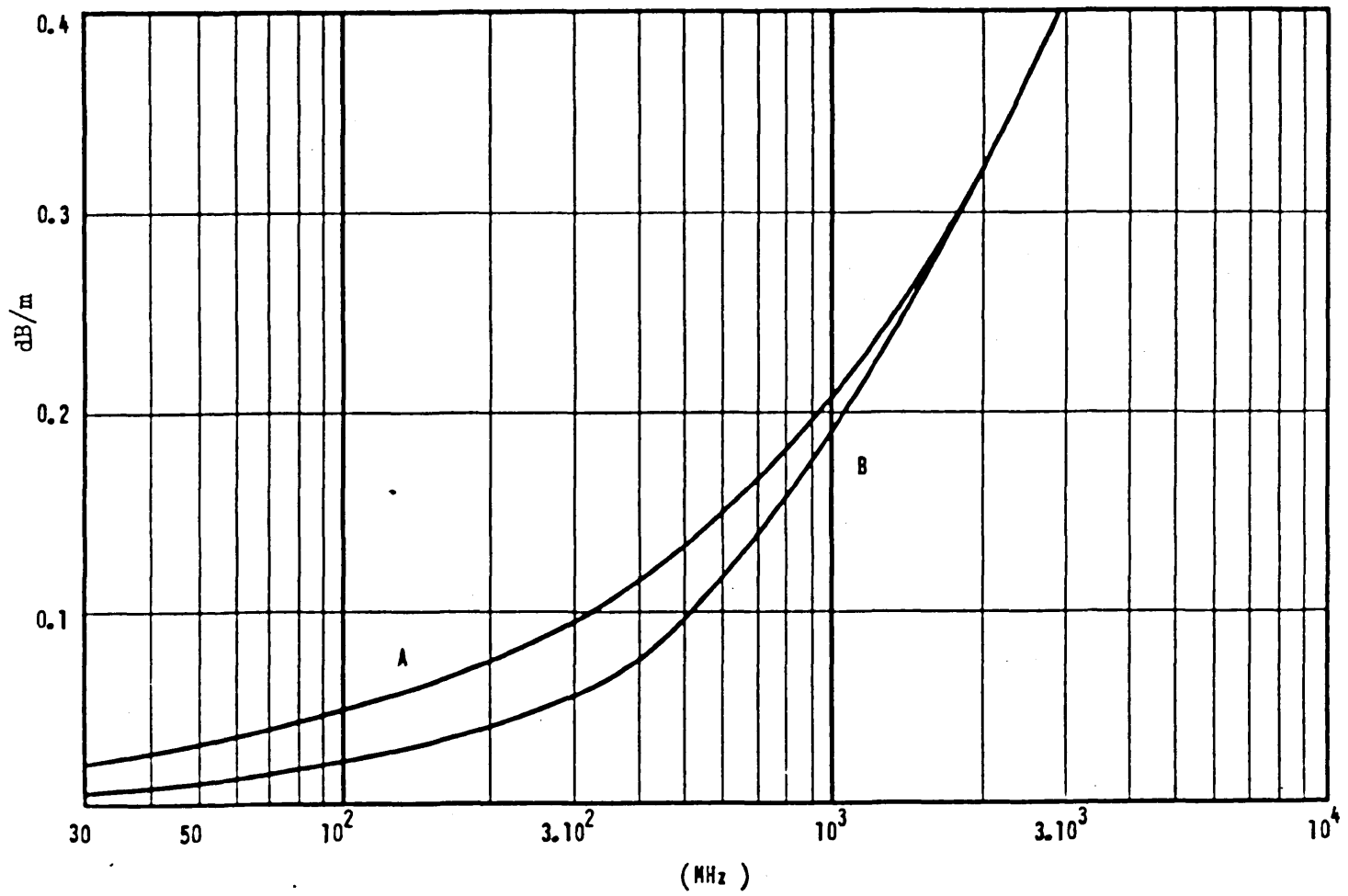


FIGURE 4

AFFAIBLISSEMENT SUPPLEMENTAIRE SUR TERRAIN BOISE

A : Polarisation verticale

B : Polarisation horizontale

RAPPORT 258-2*

BRUIT RADIOELECTRIQUE INDUSTRIEL

(Programme d'études 7C/6)

(1963-1970-1974)

Pour résoudre le problème que pose, pour les télécommunications, le bruit radioélectrique industriel, il est vivement souhaitable de pouvoir évaluer son niveau, en quelque endroit que ce soit et quel qu'en soit le type. Dans certains lieux, le bruit radioélectrique industriel peut jouer un rôle prépondérant. Ce bruit peut avoir des origines très diverses (lignes d'énergie, appareillages industriels, systèmes d'allumage, etc.) et varie donc de façon importante selon l'endroit et le temps [Herman, 1971; Horner, 1971].

Les renseignements actuellement disponibles ne permettent pas de calculer dans tous les cas, l'intensité du bruit industriel. Des données de portée limitée [JTAC, 1968; Disney, 1972] peuvent cependant servir à établir des valeurs typiques.

La Fig. 1 indique les valeurs médianes de la puissance du bruit industriel, exprimées en fonction de F_a (dB au-dessus d'un bruit thermique de 288 K - voir le Rapport 322-1) pour différents types de sources de bruit : centres commerciaux, quartiers résidentiels, agglomérations rurales et campagne. Les trois courbes les plus élevées sont fondées sur les résultats de mesures faites aux Etats-Unis, de 1966 à 1971, en 103 emplacements différents. Par "centres commerciaux" on entend le coeur des grandes villes et par zones urbaines, on entend les quartiers résidentiels des grandes villes ainsi que les quartiers suburbains des grands centres de population. Les zones rurales comprennent les petites agglomérations et les fermes; la courbe relative aux zones rurales calmes représente l'intensité du bruit industriel en un emplacement calme conforme aux caractéristiques figurant dans le Rapport 322-1. La courbe en tirets, établie pour le bruit galactique d'après le même Rapport, a été incluse dans la Fig. 1 aux fins de comparaison.

Note : Le Secrétariat du C.C.I.R. est prié de transmettre ce Rapport à la Commission d'études 1 pour information.

* Adopté à l'unanimité

BIBLIOGRAPHIE

DISNEY, R.T. [1972] Estimates of man-made radio noise levels based on the Office of Telecommunications I.T.S. data base, Proceedings I.E.E.E. International Conference on Communications, Order N° 72CH0622-1-COM, 20-13/20-19.

HERMAN, J.R. [1971] Survey of man-made radio noise, Progress in Radio Science, Vol. I, 315-348 U.R.S.I., Bruxelles.

HORNER, F. [1971] Techniques used for measurement of atmospheric and man-made noise, Progress in Radio Science, Vol. II, 177-182, U.R.S.I., Bruxelles.

JTAC [1968] Unintended radiation, Suppl. 9 to Spectrum Engineering - The Key to Progress, I.E.E.E., New York.

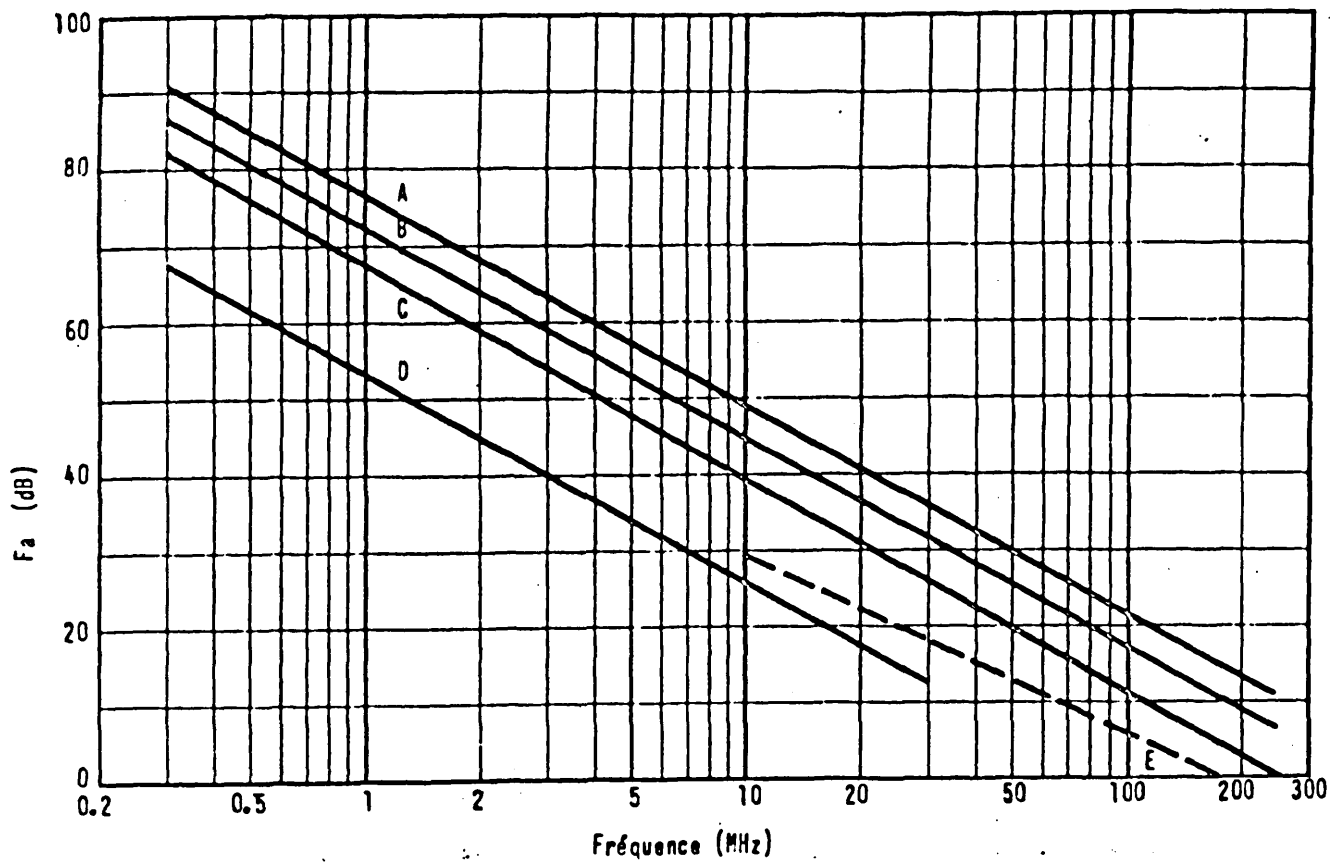


FIGURE 1

VALEURS MEDIANES DE LA PUISSANCE DU BRUIT INDUSTRIEL
MESUREES AVEC UNE COURTE ANTENNE UNIFOLAIRE VERTICALE SANS PERTES

A: Centres commerciaux

D: Zones rurales calmes

B: Quartiers résidentiels

E: Bruit galactique

C: Agglomérations rurales

RAPPORT 298-3*

RAPPORT DE PROTECTION POUR LA RADIODIFFUSION SONORE

A MODULATION D'AMPLITUDE

(Programme d'études 25A-1/10)

(1974)

1. Introduction

Ce Rapport est un résumé des connaissances actuelles sur les rapports de protection, en radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude.

Dans tous les cas, les rapports de protection se rapportent aux signaux à l'entrée du récepteur; on n'a pas tenu compte de l'effet d'antennes directives à la réception.

L'accord sur des valeurs des rapports de protection est essentiel pour les problèmes d'assignation de fréquences en radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude. Ces valeurs peuvent, en outre, servir de référence pour l'évaluation des qualités et de l'efficacité des divers systèmes d'émission en modulation d'amplitude.

Les rapports de protection dépendent d'un grand nombre de facteurs, parmi lesquels les normes d'émission et les caractéristiques des récepteurs jouent un rôle important. En dehors des facteurs techniques, il faut aussi tenir compte d'éléments physiologiques et psychologiques. Il est donc très difficile de déterminer des valeurs du rapport de protection qui puissent être universellement admises, même si l'on se fixe les normes d'émission et les caractéristiques des récepteurs.

De nombreuses recherches ont été menées à bien depuis que la radiodiffusion existe, mais le présent Rapport ne contient que les résultats connus depuis 1948.

2. Rapport de protection en audiofréquence

Le rapport de protection en audiofréquence est la valeur minimale conventionnelle du rapport signal/brouillage en audiofréquence qui correspond à une qualité de réception définie subjectivement comme acceptable (voir Avis 447).

* Adopté à l'unanimité

Ce rapport peut prendre différentes valeurs suivant le type de service considéré. Il dépend beaucoup du type du programme utile et du programme brouilleur. Il est donc indispensable d'effectuer un grand nombre d'essais d'écoute subjective avant de pouvoir s'accorder sur une valeur minimale du rapport signal audio/brouillage.

Il doit être clairement indiqué que, par suite d'effets physiologiques et psychologiques, il est totalement impossible de fixer des valeurs raisonnables pour le rapport de protection en audiofréquence autrement que par la méthode des essais subjectifs.

3. Rapport de protection aux fréquences radioélectriques

Le rapport de protection aux fréquences radioélectriques est la valeur du rapport signal/brouilleur aux fréquences radioélectriques qui, dans des conditions bien déterminées, permet d'obtenir à la sortie d'un récepteur le rapport de protection en audiofréquence.

Ces conditions déterminées comprennent :

- l'écartement des porteuses utiles et brouilleuses,
- les caractéristiques de l'émission (type de modulation, taux de modulation, compression de dynamique, bande passante à l'émission, distorsion harmonique, etc.),
- les caractéristiques du récepteur (sélectivité, sensibilité aux non-linéarités en fonction, par exemple, de la tension d'entrée du récepteur, etc.).

Le rapport de protection aux fréquences radioélectriques peut donc être déterminé au moyen d'essais subjectifs comme dans le cas du rapport de protection en audiofréquence. En procédant ainsi, le nombre de facteurs dont il faut tenir compte et, par suite, l'importance de travail, se révéleront beaucoup plus grands que dans le cas précédent. On ne peut obtenir de résultats comparables que si les conditions d'essai sont assez semblables. L'Avis 413-3 demande donc d'indiquer clairement, avec les résultats, les conditions d'essai, exprimées sous la forme des caractéristiques et des paramètres mentionnés plus haut.

L'évaluation des rapports de protection en radiofréquence peut cependant être considérablement facilitée une fois déterminé le rapport de protection en audiofréquence. Comme les effets physiologiques et psychologiques influencent seulement le rapport de protection en audiofréquence, il est possible, dans des conditions techniques déterminées, de déduire le rapport de protection en radiofréquence pour une valeur donnée du rapport de protection en audiofréquence. On peut utiliser pour cela soit des méthodes de mesures objectives soit des techniques graphiques [Parreaux, 1972] ou numériques [Petke, 1973; Gröschel, 1971] (voir le Rapport 399-2).

Il faut insister sur le fait que ces trois méthodes de détermination du rapport de protection aux fréquences radioélectriques sont basées sur les mêmes principes. Elles doivent donc donner les mêmes résultats, ce qui se vérifie effectivement si on l'utilise avec une précision suffisante.

Le manque de résultats sûrs pour le rapport de protection en radiofréquence, constaté dans le passé était essentiellement dû à la relation très complexe entre ce rapport de protection en radiofréquence et la réponse globale, amplitude/fréquence des récepteurs. Cette dernière dépend de la sélectivité des étages radiofréquence et à fréquence intermédiaire, de la sélectivité du démodulateur et de la réponse amplitude/fréquence des étages audiofréquence. Cette difficulté a été partiellement surmontée grâce à la méthode de mesures objective à deux signaux. Cette méthode, quoique très sûre, s'est révélée être trop complexe pour l'usage général, en particulier pour les constructeurs de récepteurs.

On peut cependant utiliser les méthodes numériques citées plus haut pour établir la liaison entre les valeurs de sélectivité des récepteurs données par les constructeurs et les rapports de protection en radiofréquence. Bien que les calculs soient compliqués et exigent un calculateur électronique, ils permettent, contrairement à la méthode de mesures objective, de déterminer la réponse en fréquence globale du récepteur pour une courbe du rapport de protection en radiofréquence donnée.

4. Principe général des méthodes non subjectives

Toutes les méthodes non subjectives supposent des caractéristiques normalisées à l'émission et à la réception (voir le Rapport 399-2).

Dans les problèmes de brouillage il y a deux types de gêne :

- la diaphonie du canal brouilleur dans le canal utile, causée par le signal de modulation,
- le battement des porteuses.

La gêne causée par le battement prédomine lorsque l'écartement des porteuses est compris entre 0,25 kHz et 6 kHz, du moins pour la majorité des récepteurs actuels.

5. Données sur les rapports de protection

Les valeurs généralement admises pour le rapport de protection en radiofréquence, figurent dans les Avis 448-1 et 449-2. Le Rapport 457-1 traite des effets de la limitation de bande passante à l'émission sur les rapports de protection en radiofréquence. Les renseignements de ces documents se rapportent explicitement ou, dans le cas de l'Avis 449-2 essentiellement, à la radiodiffusion sonore en bandes 5 (ondes kilométriques), et 6 (ondes hectométriques). On trouvera d'autres informations sur les rapports de protection dans / Belger et Rautenfeld, 1958; Liedke, 1965 / . Les données relatives à la radiodiffusion en bande 7 (ondes décamétriques) figurent dans les Avis 262-1 et 411-1. Les courbes du Rapport 302 représentent les données actuelles concernant la Question 27/10 et le Programme d'études 27C/10 et se rapportent essentiellement au rapport de protection en radiofréquence dans la zone tropicale pour un service de radiodiffusion dans les bandes partagées.

5.1 Rapports de protection en radiofréquence pour les services par onde directe

5.1.1 Signal utile et signal brouilleur stables (signal utile sur onde directe brouillé par un autre signal sur onde directe)

L'Avis 448-1 donne une valeur de 40 dB en ondes kilométriques et hectométriques pour les émissions dans le même canal.

Cette valeur du rapport de protection en radiofréquence assure une haute qualité de réception. Cependant, lors de l'établissement des plans, il faudra peut-être adopter des valeurs plus faibles. Ce problème a été étudié par l'U.E.R. / Doc. 10/226 (U.E.R.), 1970-1974 / et par l'Administration japonaise / Doc. 10/286 (Japon), 1970-1974 / . Les valeurs proposées sont respectivement 30 dB et 26 dB.

Les valeurs relatives des rapports de protection aux fréquences radioélectriques en fonction de l'écartement des porteuses brouilleuses et utiles figurent sous forme de courbes dans l'Avis 449-2. Ces courbes sont basées en partie sur des mesures faites selon la méthode objective à deux signaux, et en partie sur des calculs (voir le Rapport 399-2). On peut également voir sur les courbes l'influence de la compression de dynamique. On doit cependant noter que l'amélioration de protection maximale résultant de la limitation de la bande passante ne s'observe que si la non-linéarité de l'émetteur est suffisamment faible.

5.1.2 Signal utile stable et signal brouilleur fluctuant / Belger et autres, 1965 /

5.1.2.1 Evanouissements à court terme

Les évanouissements du signal brouilleur modifient le caractère de la gêne éprouvée par l'auditeur : si, pour un rapport signal/brouillage en audiofréquence donné, le signal brouilleur est soumis à des fluctuations, la gêne

est considérée comme étant subjectivement plus sévère. Les Doc. X/5 (U.E.R.), X/31 (République Fédérale d'Allemagne) et X/36 (France), 1963-1966, indiquent que, pour obtenir le même degré de satisfaction de l'auditeur, la protection doit être augmentée de 5 dB environ dans le deuxième cas.

Dans l'Avis 448-1, cette valeur a été incorporée dans le rapport de protection aux fréquences radioélectriques.

5.1.2.2 Variations à long terme du champ

Le § 4 du Rapport 264-3 contient une formule permettant de déterminer le rapport entre deux champs fluctuants transmis par l'ionosphère.

Dans le cas présent, cette formule devient (avec certaines simplifications de forme) :

$$R(T) = F_{ou} - F_{on}(50) - \delta_H(100 - T) - \Delta_H(50) \quad (1)$$

où

$R(T)$ est le rapport, en décibels, des deux champs dépassés pendant T% des nuits d'une année;

F_{ou} est le champ de l'onde de sol du signal utile;

$F_{on}(50)$ est le champ de l'onde ionosphérique du signal brouilleur à minuit (heure locale) au point milieu du trajet de propagation, qui est dépassé pendant 50 % des nuits d'une année;

$\Delta_H(50)$ est la correction à appliquer au champ F_{on} pour tenir compte de l'heure au point milieu du trajet;

$\delta_H(T)$ est la correction à appliquer au champ F_{on} pour tenir compte du pourcentage de T des nuits d'une année, à H heure (heure locale) au point milieu du trajet.

Les valeurs du $\Delta_H(50)$ et de δ_H sont données respectivement aux Fig. 6 et 7 du Rapport 264-3, pour la zone européenne de radiodiffusion.

Pour assurer une protection correspondant à un rapport de protection de A(dB), la condition

$$A \leq R(T) \quad (2)$$

doit être remplie.

5.2 Rapports de protection pour les services utilisant l'onde ionosphérique

L'une des caractéristiques des services par onde ionosphérique, surtout si la réception se fait au moyen de démodulateurs d'enveloppe, est que les effets de propagation abaissent généralement la qualité du signal reçu en provoquant, par exemple, une distorsion en cas d'évanouissements sélectifs. On estime donc qu'il y a lieu d'utiliser, pour un service par onde ionosphérique, des rapports de protection moins grands que pour un service par onde de sol, les valeurs précises variant selon qu'il s'agit d'un service primaire comme en radiodiffusion en bande 7 (ondes décamétriques) ou d'un service secondaire comme en radiodiffusion en bande 5 (ondes kilométriques) et en bande 6 (ondes hectométriques), où le service primaire est normalement assuré par l'onde de sol.

L'Avis 448-1 ne recommande aucune valeur dans les bandes 5 (ondes kilométriques) et 6 (ondes hectométriques) pour un service par onde ionosphérique. A la suite d'études, l'U.E.R. [Doc. 10/226 (U.E.R.), 1970-1974] propose une valeur de 27 dB. On ne dispose cependant que de peu de renseignements sur cet aspect de la radiodiffusion et les Administrations sont instamment priées d'entreprendre de nouvelles études.

5.3 Données utilisées par l'I.F.R.B.

Pour les examens techniques des notifications d'assignation de fréquence auxquels il procède, selon des dispositions de l'article 9 du Règlement des radiocommunications, l'I.F.R.B. utilise les valeurs de rapports de protection et de discrimination des récepteurs, contenues dans ses Normes techniques de la série A, 4ème édition, 1968.

6. Evaluation subjective de la qualité de réception

Le Doc. X/53 (U.R.S.S.), Bad Kreuznach, 1962, donne les résultats d'essais statistiques et subjectifs effectués en U.R.S.S. sur les effets de la distorsion et des brouillages dans un canal de radiodiffusion.

Les essais ont été faits selon une méthode subjective sur des bases statistiques, à l'aide d'un équipement spécial qui permettait de comparer une reproduction sonore exempte de distorsion avec une autre reproduction dans laquelle on avait préalablement introduit une distorsion déterminée.

L'objet de ces expériences était de déterminer la perceptibilité de la distorsion; les groupes d'auditeurs suivants y participèrent :

- experts qualifiés (ingénieurs du son de la radiodiffusion),
- observateurs qui n'avaient pas reçu d'éducation musicale spéciale, ni d'entraînement en matière d'appréciation des distorsions.

Les résultats des expériences ont été publiés, sous forme de graphiques, donnant le pourcentage de perceptibilité en fonction du niveau de la distorsion ou du brouillage introduit.

Les essais reposent sur un grand nombre de données statistiques. La cohérence des données recueillies a été vérifiée par les méthodes de la statistique mathématique. Les résultats ont été présentés (voir le Doc. X/53 (U.R.S.S.), Bad Kreuznach, 1962) en fonction :

- de la distorsion linéaire de divers types (à divers niveaux et pour différentes plages de la bande basse fréquence);
- des distorsions non linéaires (cubique, quadratique et du type "à coupure centrale");
- du bruit sinusoïdal;
- du bruit blanc.

On trouve dans le même document un système de classification de la qualité de la réception.

Il est recommandé de distinguer, pour la qualité de la reproduction sonore, quatre classes qui se différencient par le degré de perceptibilité des distorsions et des brouillages (voir le Doc. X/53).

Quelques essais subjectifs d'écoute du même type ont été effectués au Japon (1973). Les résultats sont consignés dans le Doc. 10/286 (Japon), 1970-1974. Selon ce document, on peut conclure qu'un rapport de protection de 26 dB aux fréquences radioélectriques donne satisfaction à 66,7 % environ des auditeurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BELGER, E. et von RAUTENFELD, F. [1958] Der erforderliche Gleichkanal- und Nachbarkanal-Störabstand beim amplitudenmodulierten Tonrundfunk (Rapports de protection pour émissions dans le même canal et dans le canal adjacent, en radiodiffusion à modulation d'amplitude). Rundfunktechnische Mitteilungen, 2, 172-177.
- BELGER, E., von RAUTENFELD, F. et VOGT, K. [avril, 1965] Rapport signal/brouilleur exigé en radiodiffusion à modulation d'amplitude en présence d'un brouillage variable dans le temps. Revue de l'U.E.R., Partie A - Technique, 90, 69-72.

GRÖSCHEL, G. [1971] Out-of-band radiation and its influence on the adjacent channel with amplitude-modulated sound broadcasting. Nachrichtentechnische Fachberichte, 41, 41-49.

LIEDTKE, G. R. [avril, 1965] Influence des caractéristiques du récepteur et de la largeur de bande émise sur le rapport signal/brouilleur HF en radio-diffusion à modulation d'amplitude. Revue de l'U.E.R., Partie A - Technique, 90, 65-68.

PARREAUX, D. [août, 1972] Détermination graphique du rapport de protection en ondes hectométriques et kilométriques (modulation d'amplitude). Revue de l'U.E.R. - Technique 134, 163-167.

PETKE, G. [octobre, 1973] Calcul du rapport de protection RF en modulation d'amplitude. Revue de l'U.E.R. - Technique 141, 227-234.

RAPPORT 400-2*

RADIODIFFUSION SONORE EN ONDES KILOMETRIQUES, HECTOMETRIQUES
ET DECAMETRIQUES (BANDES 5, 6 ET 7)

Facteurs limitant la zone desservie en ondes hectométriques (bande 6)**
(Programme d'études 25F-1/10)

(1966-1970-1974)

1. Introduction

L'organisation des réseaux d'émetteurs de radiodiffusion doit se faire de façon à couvrir la zone à desservir avec le minimum de fréquences.

Sur le plan purement technique, la zone de service de chaque émetteur dépend de divers facteurs, tels que : puissance d'émission, champ minimal utilisable, rapport de protection aux fréquences radioélectriques, distance entre émetteurs de même canal, écartement des canaux, conductivité du sol, fréquence d'émission.

Les zones de service varient beaucoup avec le type de service envisagé, par onde directe pendant la journée, par onde directe ou ionosphérique pendant la nuit.

Des études ont été effectuées en France et en République Fédérale d'Allemagne, dans le cadre de l'Union Européenne de Radiodiffusion / Eden et Minne, 1969_. L'un des principaux problèmes a consisté à déterminer l'influence, sur la couverture, du rapport de protection aux fréquences radioélectriques et de la distance entre émetteurs de même canal.

D'autres études effectuées par l'Union européenne de radiodiffusion (U.E.R.) / U.E.R. Doc. Tech. 3206; Eden et Minne, 1973_ et l'Administration japonaise / C.C.I.R., 1970-1974_ ont traité de l'influence de l'écartement des canaux sur la couverture.

* Adopté à l'unanimité.

** L'aspect "exploitation" de la couverture en radiodiffusion sur ondes hectométriques est discuté de façon plus approfondie dans le Rapport 616.

2. Couverture en fonction de la distance

2.1 Définition et hypothèses fondamentales

En l'absence de bruit, deux émetteurs de même fréquence, de puissance égale P kW et distants de D km, ont une zone de service, R, (km), qui dépend du rapport de protection aux fréquences radioélectriques, A, (dB), mais qui est indépendante de la puissance d'émission. En présence de bruit, la zone de service dépend aussi de la puissance d'émission.

Le facteur de couverture, c, peut être défini comme le rapport entre la somme de toutes les surfaces, s_n , couvertes par chaque émetteur de même fréquence sur une zone très étendue, S, et la surface totale à desservir :

$$c = \Sigma s_n / S = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R^2}{D^2}$$

La quantité R^2/D^2 est par conséquent proportionnelle au facteur de couverture.

Le facteur de couverture ainsi défini correspond à la couverture par canal. Il s'exprime normalement en %. Si ce facteur, pour l'ensemble des canaux dans la bande 5 (ondes hectométriques) dépasse l'unité (100 %) ce nombre représente la moyenne du nombre des programmes qui, dans ces conditions, peuvent être reçus en tout point de la zone.

Pour établir les courbes donnant la variation de $10^3 \times R^2/D^2$ ou c en fonction de la distance D, avec A ou P comme paramètres, on a fait les hypothèses suivantes :

- émetteurs de puissance égale;
- courbes de propagation directe de l'Avis 368-2;
- champ ionosphérique considéré : médiane annuelle des médianes horaires à minuit;
- courbes de propagation ionosphérique déduites de la Fig. 2 du Rapport 264-3, extrapolées au-delà de 3.500 km (Fig. 1 du présent Rapport).

L'extrapolation a été faite de plusieurs façons :

- en continuant les courbes à l'aide de la formule (1a) du § 2 du Rapport 264-3 (propagation type N° 1);
- en diminuant de moitié la pente moyenne des courbes existantes tous les 500 km à partir de 3.500 km (propagation type N° 2);

- en prenant une courbe intermédiaire entre les deux premières (propagation type N° 3);
- courbe de propagation de l'onde ionosphérique : Le Caire (N/S) [C.C.I.R., 1938] (propagation type N° 4);
- courbe de propagation de l'onde ionosphérique : U.R.S.S. [Oudaltsov et Schlynger, 1972] à 1 MHz et une latitude géomagnétique de 25,4° N (propagation type N° 5).

Aucun facteur de correction tenant compte du diagramme de rayonnement vertical à l'émission, inclinaison magnétique, nombre de taches solaires, etc., n'a été appliqué aux valeurs du champ obtenues à partir des courbes.

Note : D'après des mesures en ondes kilométriques et hectométriques [Vilensky et autres, 1969; Täumer et Müller, 1965] les champs aux distances supérieures à 2.000 km sont, notamment en ondes hectométriques, nettement plus élevés que ceux déduits des courbes du Rapport 264-3. Le Rapport 431-1 contient un résumé de ces observations.

2.2 Résultats

2.2.1 Terre plane

Les courbes des Fig. 2, 3 et 4 sont données à titre d'exemple pour 1 MHz. Ces figures sont basées sur les mêmes hypothèses : il n'y a qu'une seule station brouilleuse, et la zone de service a été calculée dans les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire sur la ligne droite reliant l'émetteur utile à l'émetteur brouilleur. Ces figures indiquent dans quelle mesure la couverture dépend de la distance entre émetteurs de même fréquence.

La Fig. 2 s'applique lorsque le service en onde de sol est limité par l'onde ionosphérique de l'émetteur brouilleur, et lorsque, en l'absence de bruit, la zone de service ne dépend pas de la puissance d'émission; le paramètre indiqué sur les courbes est le rapport de protection aux fréquences radioélectriques, A. On y a également indiqué, en décibels au-dessus de 1 $\mu\text{V/m}$, le champ F_1 de l'émetteur utile à la limite de la zone de service, pour une puissance d'émission de 1 kW sur une antenne verticale courte. Par exemple, un point d'intersection d'une courbe en tirets longs, côté $F_1 = 40$ dB avec une courbe $R^2/D^2 = f(D)$ coté A = 25 dB, signifie que si les émetteurs sont distants de D km (abscisse de ce point d'intersection) et pour le rapport de protection A = 25 dB, le champ à la limite de la zone où le rapport de protection est ≥ 25 dB est de 0,1 mV/m.

La Fig. 2 montre que :

- le facteur de couverture décroît d'abord lorsque D augmente et passe par un minimum vers 1.500 km environ. En pratique, toutefois, on ne peut pas atteindre les valeurs relativement élevées du facteur de couverture pour les courtes distances entre émetteurs, car il faut s'attendre à des brouillages de plus d'un émetteur;
- pour les distances dépassant 1.500 km et jusqu'à 4.000 km au moins, le facteur de couverture croît;
- au-delà de 4.000 km, la variation de ce facteur de couverture dépend des conditions de propagation. Dans le cas d'une propagation du type N° 3, cette variation est faible, tout au moins pour des rapports de protection en radiofréquence élevés;
- l'allure générale des courbes, bien que très variable avec le type de propagation au-delà de 3.500 km, est pratiquement indépendante de la conductivité du sol et de la fréquence;
- la distance optimale de séparation est très liée au type de propagation mais ne dépend que très peu du rapport de protection aux radiofréquences;

Les Fig. 3 et 4 [Suzuki et autres, 1974] montrent respectivement l'influence de la puissance d'émission P (paramètre indiqué sur les courbes) en présence de bruit pour un rapport de protection RF $A = 40$ dB et $A = 26$ dB. Le facteur de couverture c, est donné en échelle logarithmique pour permettre la comparaison entre les cinq exemples donnés :

- service par onde de sol, brouillage par onde de sol (jour) : conductivité du sol $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m; courbes A; (voir les Fig. 3 et 4);
- service par onde de sol, avec brouillage par onde ionosphérique (nuit) : conductivité du sol $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m; propagation type N° 1 : courbes B₁ (voir les Fig. 3 et 4); propagation type N° 4 : courbes B₂, Fig. 3; propagation type N° 5 : courbes B₂, Fig. 4;
- service par onde ionosphérique, brouillage par onde ionosphérique (nuit) : propagation type N° 1 : courbes C₁; propagation type N° 4 : courbes C₂ (voir les Fig. 3 et 4).

Les Fig. 3 et 4 montrent qu'en présence de bruit :

- la distance optimale de séparation entre émetteurs de même canal varie considérablement avec la puissance d'émission;
- la distance optimale de séparation est totalement différente le jour et la nuit;
- la distance optimale de séparation n'est pas très différente la nuit pour le service par onde de sol ou par onde ionosphérique;
- la couverture est la plus faible lorsque le service par onde de sol est brouillé par l'onde ionosphérique de l'émetteur brouilleur;
- pour les émetteurs de grande puissance tout au moins ($P \geq 30$ kW), le service par onde ionosphérique conduirait à une couverture comparable à celle du service par onde de sol pendant le jour;
- la couverture de l'onde ionosphérique diminue considérablement pour les propagations des types N^{OS} 4 et 5;
- la couverture de l'onde de sol pendant la nuit diminue aussi considérablement pour les propagations des types N^{OS} 4 et 5. Dans ce cas, les maximums de couvertures sont moins nets ou presque inexistantes par rapport à celles qu'on obtient avec la propagation type N^O 1;
- pour les faibles distances la couverture de l'onde de sol pendant la nuit augmente à mesure que la distance entre émetteurs sur le même canal diminue et ne dépend pratiquement pas du type de propagation de l'onde ionosphérique. Il en résulte une couverture plus étendue pour des distances réduites entre émetteurs de même canal, alors que les portées de service sont réduites à quelques kilomètres seulement durant cette période.

2.2.2 Terre sphérique

En cas de brouillage par ondes 2x, soit au service par onde de sol, soit au service par ondes ionosphériques, les distances les plus appropriées entre émetteurs de même canal sont de l'ordre du rayon de la Terre, de sorte qu'il faut tenir compte du caractère sphérique de la Terre. C'est ce qui est fait dans le document de référence [Eden et Minne, 1969] où, seul, le cas du service par onde de sol est étudié et où l'on a tenu compte du brouillage éventuel dû aux émetteurs les plus proches de même fréquence, tous séparés par des distances égales.

On a essayé de couvrir une sphère par un réseau de triangles sphériques équilatéraux. On peut montrer que cela peut être obtenu en remplaçant, en première approximation, la sphère par un polyèdre : parmi ceux-ci, le tétraèdre, l'octaèdre et l'icosaèdre donnent respectivement des surfaces formées de 4, 8 et 20 triangles équilatéraux. Ces triangles peuvent être développés sur une surface plane, et l'on peut alors utiliser sans difficulté une répartition linéaire des canaux.

Toutefois, lorsqu'on reconstitue les polyèdres, certains triangles auront des sommets ou des côtés communs avec d'autres triangles dont ils étaient séparés dans le développement plan. Dans ces groupes de triangles, la répartition des canaux n'est plus nécessairement linéaire, d'où des restrictions dans l'utilisation des canaux figurant dans ces triangles. La proportion maximale des triangles inutilisables par rapport au nombre total sera au maximum de 40 % dans le cas de l'icosaèdre, de 25 % dans le cas de l'octaèdre et de 50 % dans le cas du tétraèdre. Par contre, on peut, dans la majorité des cas, ne pas tenir compte de ces triangles car les terres n'occupent qu'un tiers de la surface de la Terre. Il est par conséquent toujours possible d'utiliser les résultats obtenus à l'aide d'un réseau sur surface plane.

En supposant que, pour couvrir les terres émergées, 50 % des triangles seront effectivement employés, chaque canal peut être répété un nombre de fois égal au quart du nombre des triangles. On peut alors indiquer, sur une seule figure, la relation entre le nombre d'émetteurs, b , la distance entre émetteurs du même canal, D , la puissance de l'émetteur P , et le facteur de couverture, c (voir Fig. 5). On peut noter que si l'on fixe la valeur d'un des paramètres, les autres sont alors déterminés. Il ne faut pas oublier, en utilisant cette figure, qu'il ne s'agit que d'une approximation.

Dans une étude complémentaire, on a calculé l'incidence du rapport de protection en radiofréquence sur le facteur de couverture en utilisant les mêmes hypothèses que dans le cas précédent. Les résultats sont indiqués sur la Fig. 6. Ils montrent que le facteur de couverture augmente plus rapidement lorsque les valeurs du rapport de protection $2X$ diminuent, si la distance entre émetteurs de même fréquence est relativement faible. Pour 3.000 km, par exemple, le facteur de couverture est cent fois plus élevé quand le rapport de protection en radiofréquence est de 20 dB que lorsqu'il est de 40 dB.

2.3 Conclusions

Les principaux résultats des études précitées sont indiqués à la Fig. 5. Bien que ces études soient purement théoriques et que la propagation au-delà de 3.500 km fût mal connue à l'époque (mais on a effectué depuis de nouvelles études sur ce point : Rapport 575, il y a une corrélation entre les paramètres indiqués à la Fig. 5.

On ne peut notamment pas échapper au fait que le nombre d'émetteurs pouvant fonctionner sur le même canal est inversement proportionnel à leur distance. Il est également exact que le facteur de couverture augmente lorsque la distance entre émetteurs de même fréquence augmente, du moins pour l'onde indirecte aux distances inférieures à 5.000 km environ. Les valeurs précises du facteur de couverture peuvent toutefois être considérablement plus faibles, du fait de brouillages supplémentaires (des canaux adjacents par exemple) ou des champs plus élevés provenant d'émetteurs à grande distance, ou d'effets analogues.

Il convient de noter que c'est en cas de brouillage de l'onde de sol par l'onde ionosphérique que la couverture est la moins bonne.

Il existe toutefois des moyens permettant d'améliorer la couverture, par exemple l'utilisation de réseaux synchronisés et, dans certains cas, l'emploi d'antennes directives à l'émission (voir le Rapport 616).

3. Facteur de couverture en fonction de l'écartement des canaux

3.1 Hypothèses fondamentales

L'influence de l'écartement des canaux en ondes hectométriques sur la couverture en surface par onde de sol de nuit, et par onde ionosphérique a été étudiée pour des écartements compris entre 5 et 10 kHz. On a considéré l'ensemble des Zones européenne et africaine de radiodiffusion (42×10^6 km²) et on a supposé que le nombre d'assignations de fréquence était constant. La couverture totale en surface a été calculée dans diverses hypothèses et est présentée sous forme d'un certain nombre de courbes où le facteur de couverture est indiqué en fonction des écartements entre canaux de 5 à 10 kHz avec comme paramètre diverses valeurs du nombre d'assignations de fréquence.

3.2 Service par onde de sol durant la nuit

L'Administration japonaise a effectué des études sur la couverture par onde de sol. Les résultats sont indiqués sur la Fig. 7. Ils montrent que la couverture maximale correspond à un écartement des canaux d'environ 8 kHz et qu'elle ne dépend pratiquement pas du nombre d'assignations dans une zone donnée. La valeur absolue de la couverture ne dépend que dans une faible mesure du nombre d'assignations.

3.3 Service par onde ionosphérique

Des études similaires ont été effectuées en République Fédérale d'Allemagne sur la couverture par onde ionosphérique. Les résultats sont indiqués à la Fig. 8. Dans ce cas aussi la couverture maximale est obtenue avec un écartement des canaux de 8 kHz environ. En revanche, la valeur de la couverture dépend dans une large mesure du nombre d'assignations dans une zone donnée.

3.4 Conclusions

Les résultats montrent que, par rapport à la situation actuelle (essentiellement, écartement de 9 kHz ou 10 kHz), on obtiendrait une meilleure couverture avec un écartement de 8 kHz. Ce résultat est basé sur des études faites à l'aide d'un réseau régulier d'émetteurs, et d'exercices d'assignation dans les Zones européenne et africaine de radiodiffusion.

La Fig. 9 explique comment la valeur optimale unique de 8 kHz est applicable à la quasi-totalité des cas.

Si dans la bande 6 (ondes hectométriques) il faut avoir N assignations de fréquences pour des émetteurs (ou groupes d'émetteurs synchronisés) sur une surface donnée S et si l'on ne doit tenir compte que des brouillages dans le même canal, on pourra améliorer la couverture en réduisant l'écartement des canaux, ce qui permet d'augmenter le nombre de canaux disponibles. Il est évident que, dans ce cas, la distance moyenne entre émetteurs de même canal augmentera également (courbe A de la Fig. 9) et que, de cette façon, on pourra réduire les brouillages. Dans ces conditions, de faibles valeurs de l'écartement des canaux seront préférables.

Par contre, si l'on doit tenir compte des brouillages par le canal adjacent au lieu des brouillages dans le même canal sans faire varier les autres paramètres, les brouillages augmentent, et par conséquent la couverture diminue lorsque l'écartement des canaux diminue (courbe B de la Fig. 9). Des valeurs plus élevées pour les écartements des canaux sont donc, dans ce cas préférables.

En pratique, il faut tenir compte de ces deux types de brouillages et il est évident que la courbe de couverture en fonction de l'écartement des porteuses se situera au-dessous des deux courbes considérées. De plus, étant donné l'allure de ces deux courbes limites, il est très probable que la courbe représentant la couverture résultante présentera un maximum (courbe C de la Fig. 9).

Il résulte d'une autre étude que l'écartement des canaux assurant une couverture maximale dépend essentiellement de la courbe des rapports de protection RF relatifs et correspond à une valeur $A_{rel} = -20$ dB.

On a également démontré que, pour la Zone européenne de radiodiffusion et, dans la situation actuelle, pour les émetteurs de grande puissance (≥ 100 kW), le brouillage dans le même canal est supérieur de plus de 10 dB au brouillage dans le canal adjacent. Cela montre aussi que l'écartement pourrait être réduit à moins de 9 kHz, d'où davantage de canaux et une plus grande distance entre émetteurs du même canal sans brouillages inadmissibles par les canaux adjacents.

Des études effectuées en U.R.S.S. ont montré qu'il était utile de conserver un espacement entre canaux égal à 9 kHz.

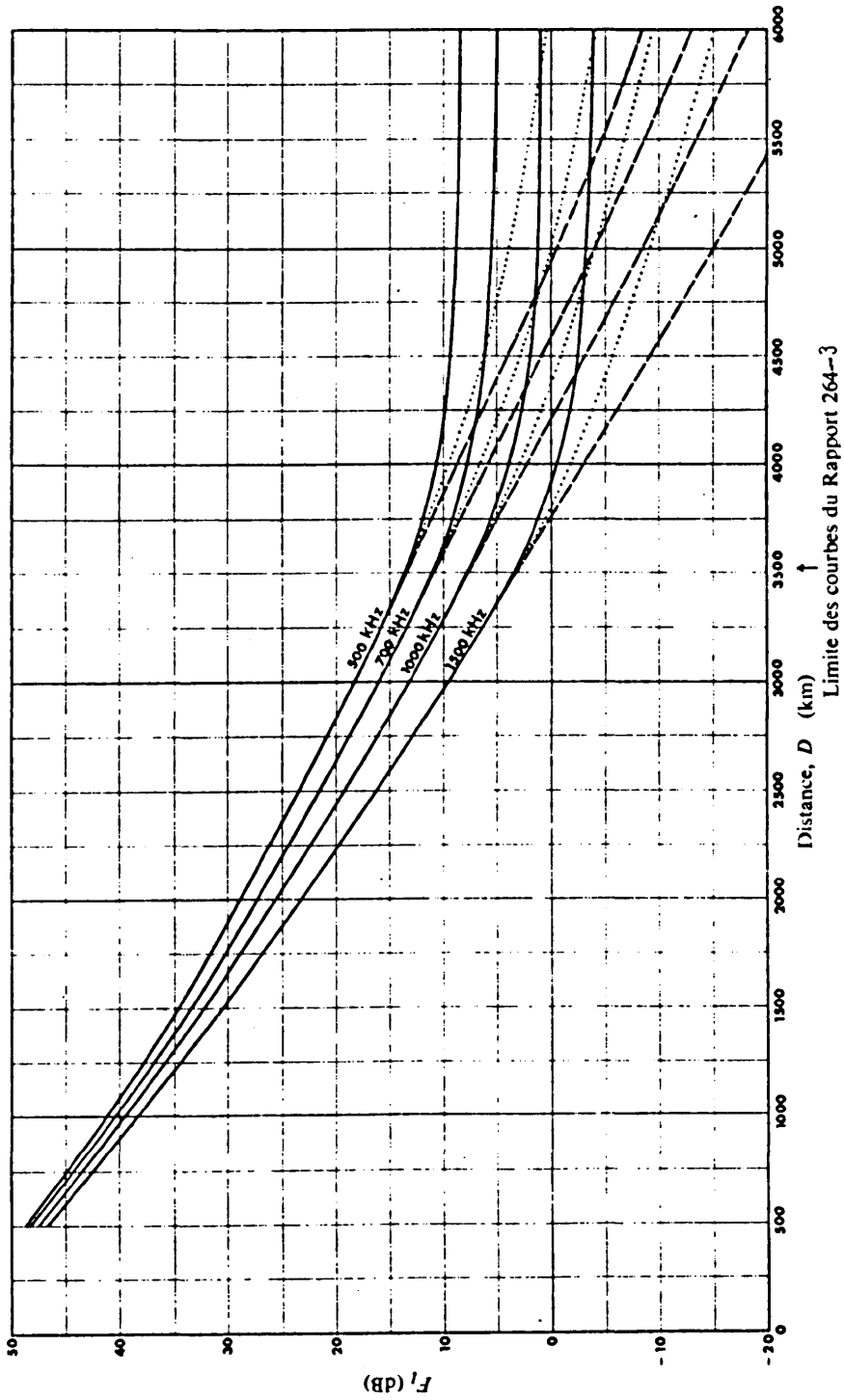


FIGURE 1
 Courbes de propagation ionosphérique (Rapport 264-3)
 - - - - - Propagation type N° 1 - - - - - Propagation type N° 2 Propagation type N° 3

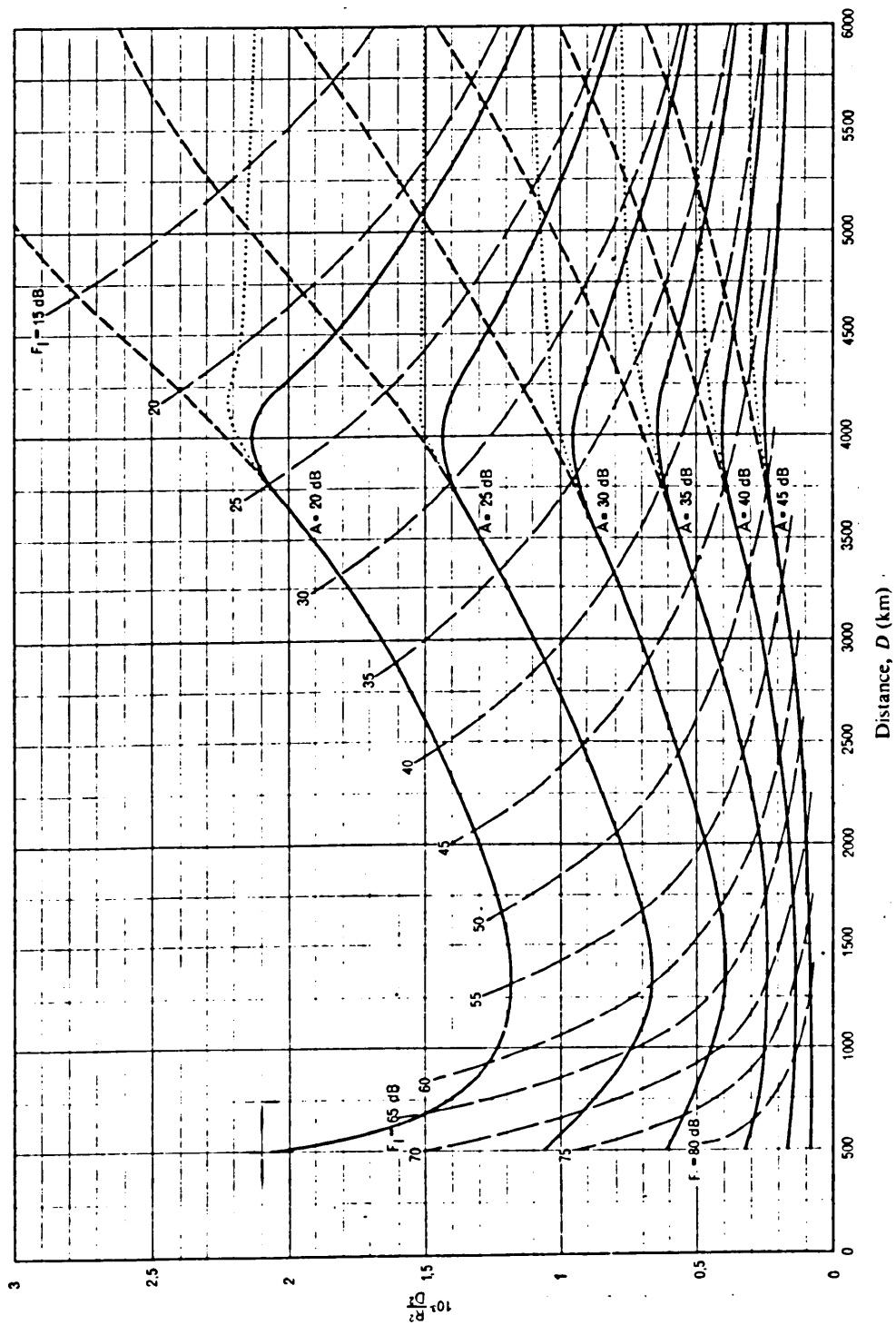


FIGURE 2
Facteur de couverture
 $\sigma = 3.10^{-3} \text{ S/n}$ $f = 1 \text{ MHz}$

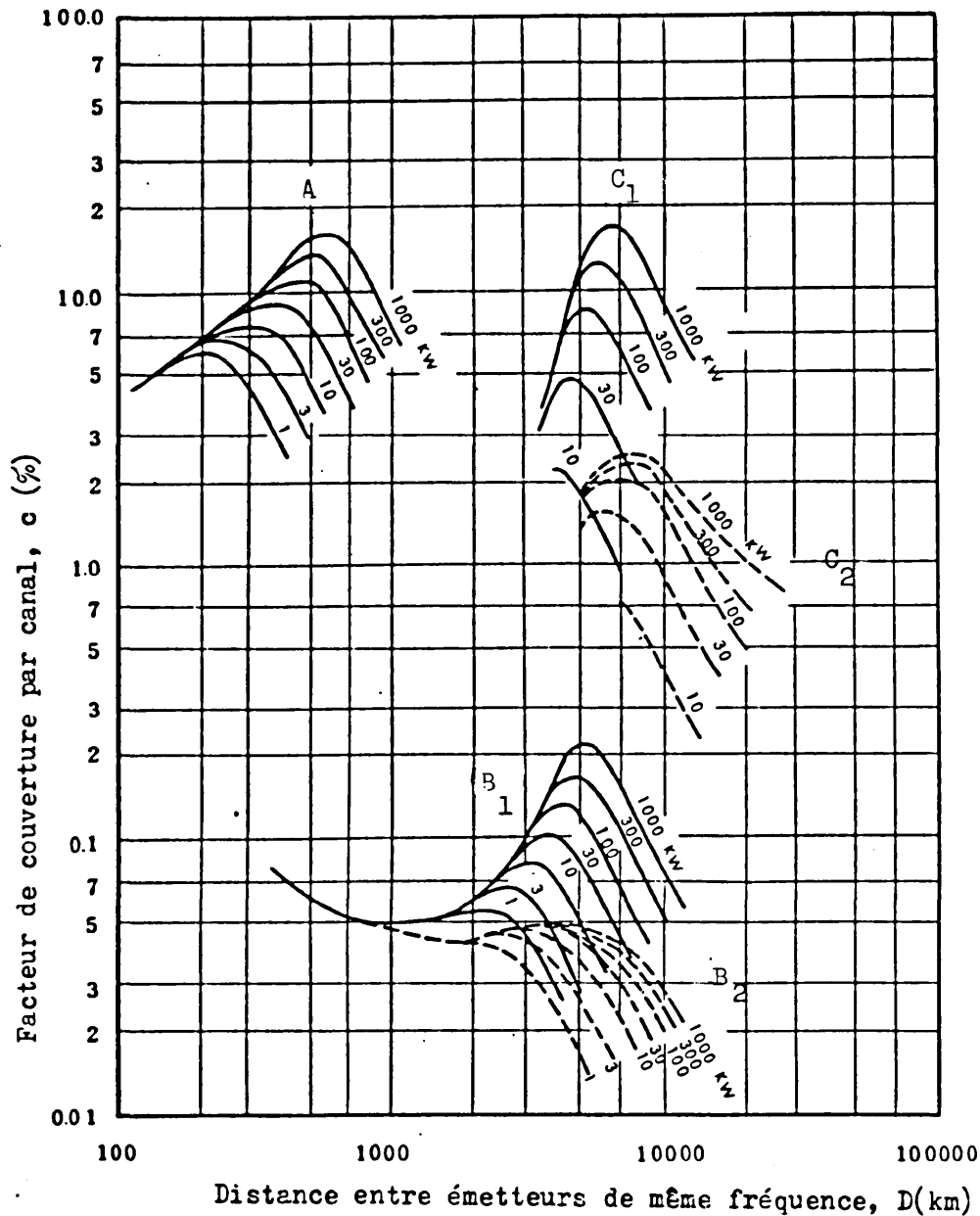


FIGURE 3

Facteur de couverture par canal, c, en fonction de la distance D entre émetteurs de même fréquence, pour différentes conditions de propagation

- A Service diurne par onde de sol
- B Service nocturne par onde de sol
- C Service nocturne par onde ionosphérique

(La puissance rayonnée, P (kW), est constante pour tous les angles de site.)

Courte de propagation

Onde de sol

Onde ionosphérique :

Avis 368-2 ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m)

Rapport 264-3

----- Courbe (N/S) du Caire

Fréquence

f 1 000 kHz

Rapport de protection aux fréquences radioélectriques

A 40 dB

Champ minimal

F_{min} 61 dB

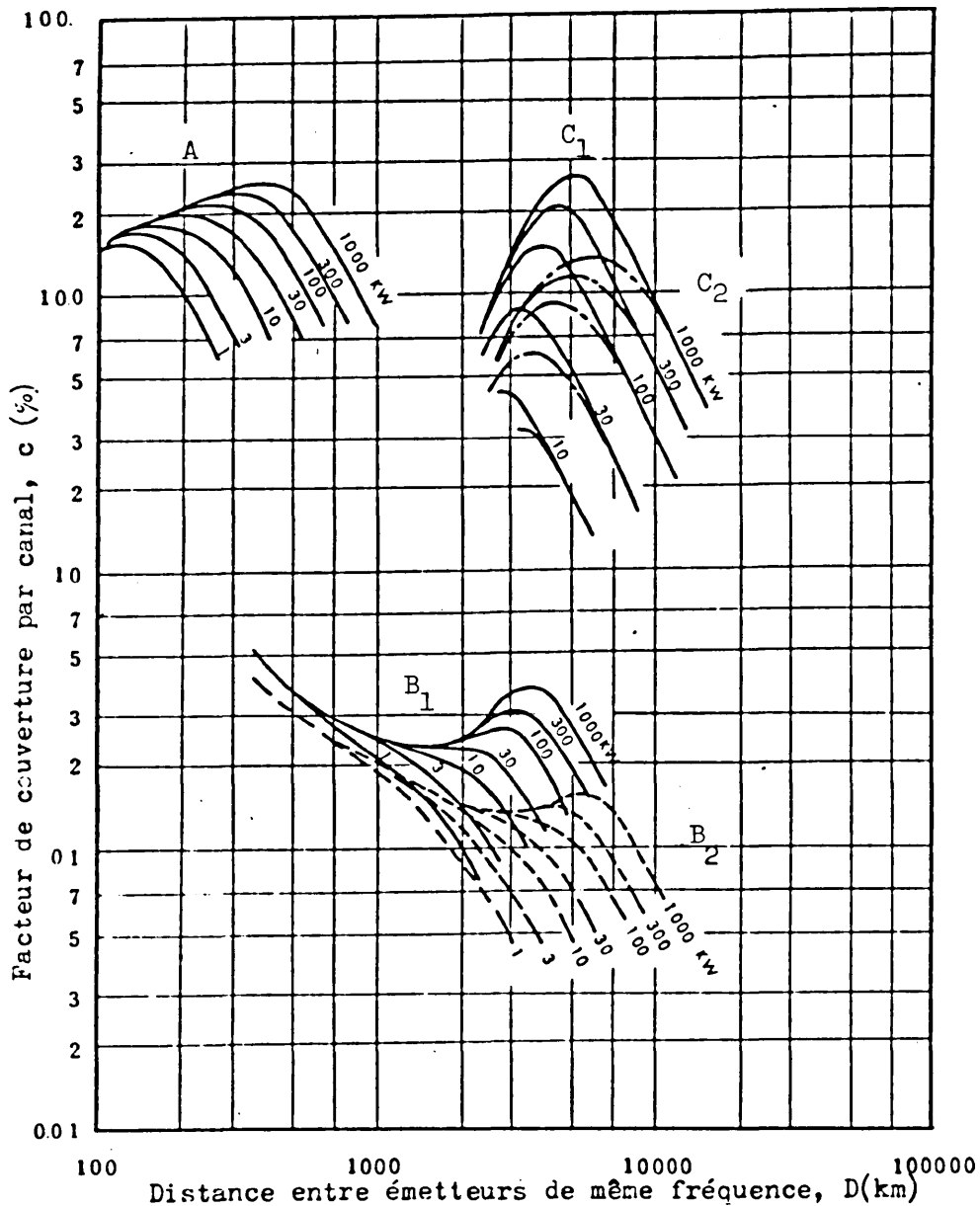


FIGURE 4

Facteur de couverture par canal, c, en fonction de la distance D entre émetteurs de même fréquence, pour différentes conditions de propagation

- A : Service diurne par onde de sol
 B : Service nocturne par onde de sol
 C : Service nocturne par onde ionosphérique

(La puissance rayonnée, P(kW), est constante pour tous les angles de site.)

Courbe de propagation

Onde de sol :	Avis 368-2 ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m)
Onde ionosphérique :	Rapport 264-3
	URSS
	Courbe (N/S) du Caire

Fréquence	f = 1000 kHz
Rapport de protection aux fréquences radioélectriques	A = 26 dB
Champ minimal	F _{min} = 61 dB

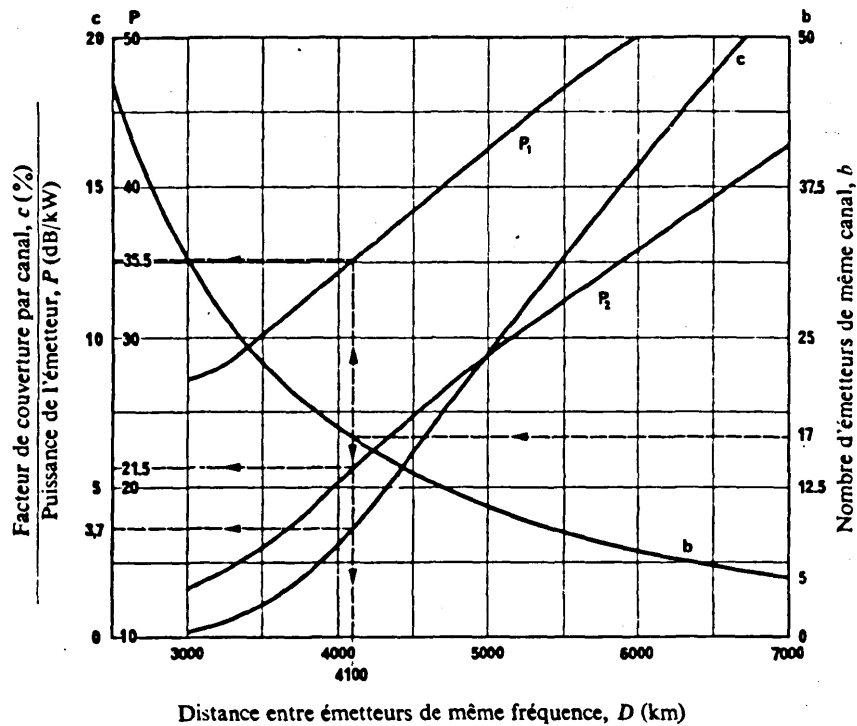


FIGURE 5

Nombre d'émetteurs b , puissance de l'émetteur P et facteur de couverture par émetteur c , en fonction de la distance entre émetteurs de même fréquence D

Courbes P_1 : puissance de l'émetteur (dB/kW) pour $F_{min} = 74$ dB/(μ V/m)

P_2 : puissance de l'émetteur (dB/kW) pour $F_{min} = 60$ dB/(μ V/m)

b : nombre d'émetteurs de même fréquence

c : facteur de couverture par canal (en pour-cent)

Rapport de protection aux fréquences radioélectriques

Fréquence, f : 1 MHz

Exemple:

Si le nombre d'émetteurs qui partagent le même canal est $b = 17$, la distance entre émetteurs de ce canal est $D = 4.100$ km, le facteur de couverture par canal est $c = 3,7$ % et la p.a.r.v. de chaque émetteur pour que la couverture soit limitée par les brouillages (plutôt que par le bruit) est :

$P = 21,5$ dB/kW pour $F_{min} = 60$ dB (μ V/m)

ou

$P = 35,5$ dB/kW pour $F_{min} = 74$ dB (μ V/m)

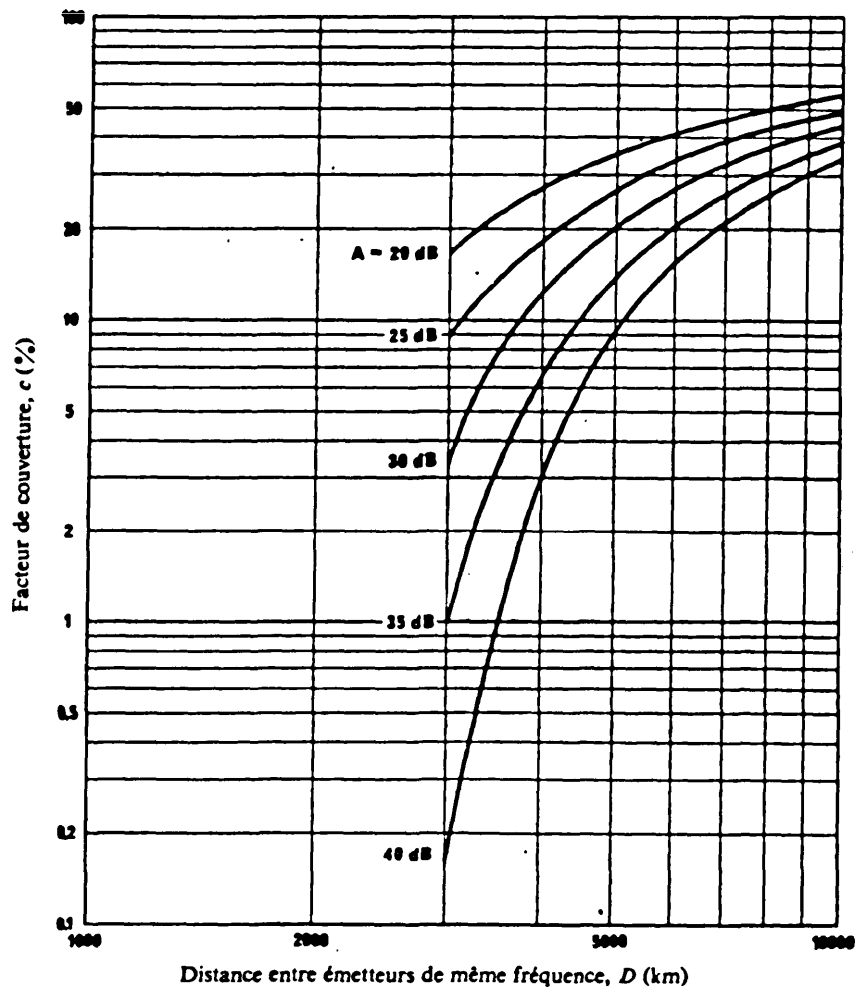


FIGURE 6

Facteur de couverture, dans le cas d'une Terre sphérique, en fonction de la distance entre émetteurs de même canal avec le rapport de protection aux radiofréquences, A , (dB) comme paramètre

Fréquence : 1 MHz

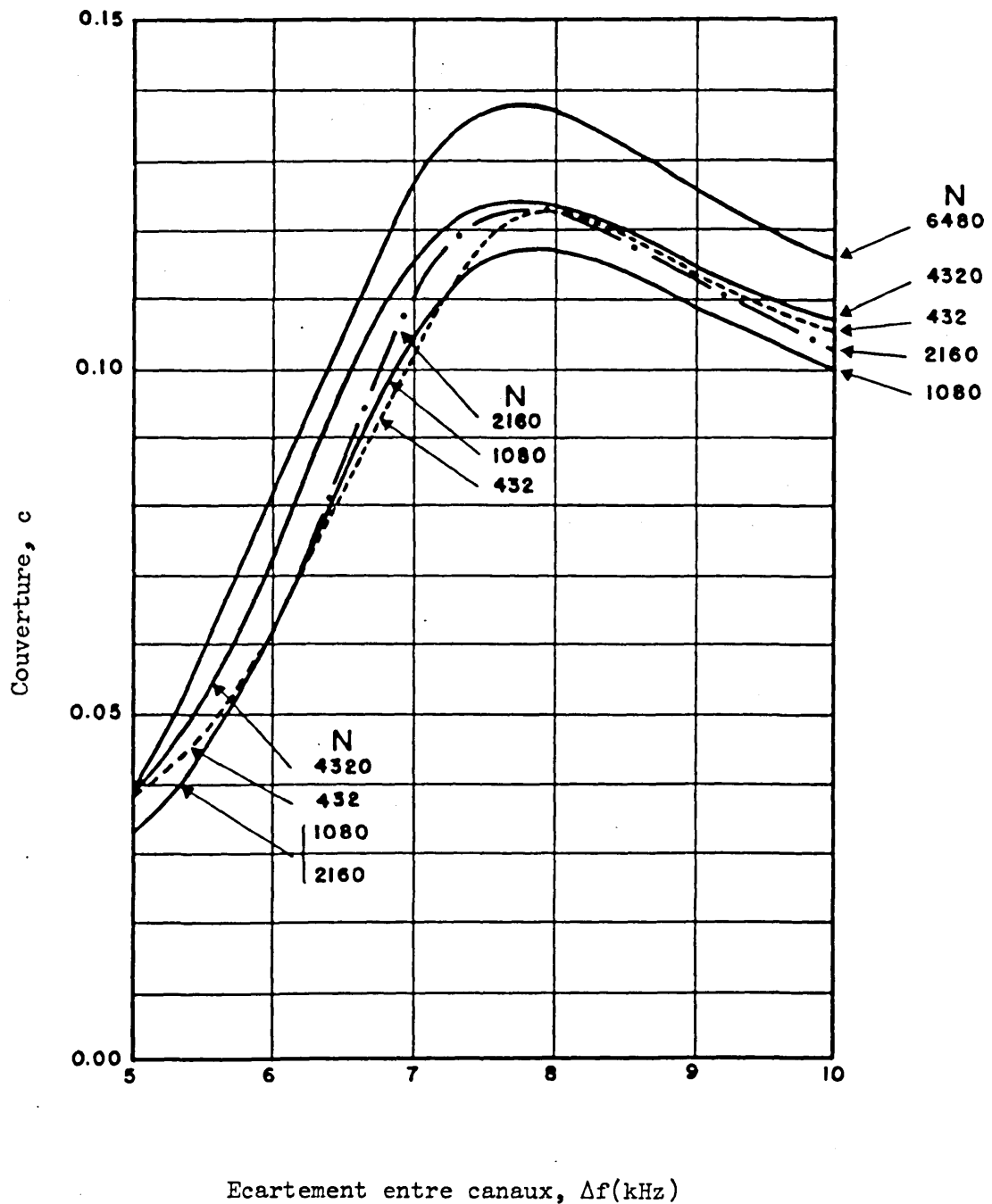


FIGURE 7

Couverture réalisable dans la bande d'ondes hectométriques(1 080 kHz)
avec N stations dans une zone de $42 \times 10^6 \text{ km}^2$ par un service
par onde directe pendant la nuit

Courbe de propagation

Onde de sol : Avis 368-2 ($\sigma = 3 \times 10^{-3} \text{ S/m}$) à 1 MHz

Onde ionosphérique : Le Caire (N/S)

Rapport de protection A = 26 dB

Courbe du rapport de protection pour le canal adjacent : Avis 449-2, courbe A

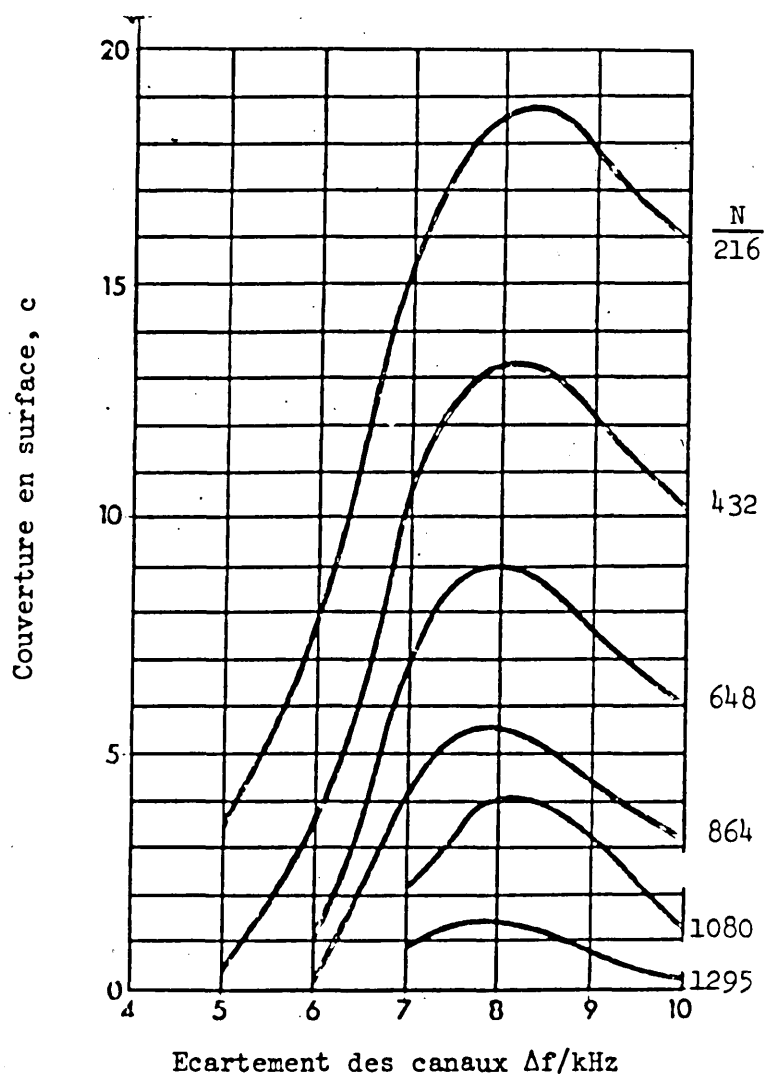


FIGURE 8

Couverture en surface par onde indirecte,
réalisable avec tous les canaux dans la
bande 6(ondes hectométriques)

Paramètre : nombre d'assignations de fréquence N

Hypothèses de base :

- surface totale : $42 \times 10^6 \text{ km}^2$
- rapport de protection dans le même canal pour le champ médian : 27 dB
- rapports de protection relatifs : courbes de l'Avis 449-2
- chaque émetteur utile est brouillé par trois émetteurs dans le même canal et trois dans le canal adjacent
- courbes de propagation par onde indirecte :
 signal utile : Rapport 264-3
 signal brouilleur : Rapport 575; Equation (3) [Eden et Minne, 1973].

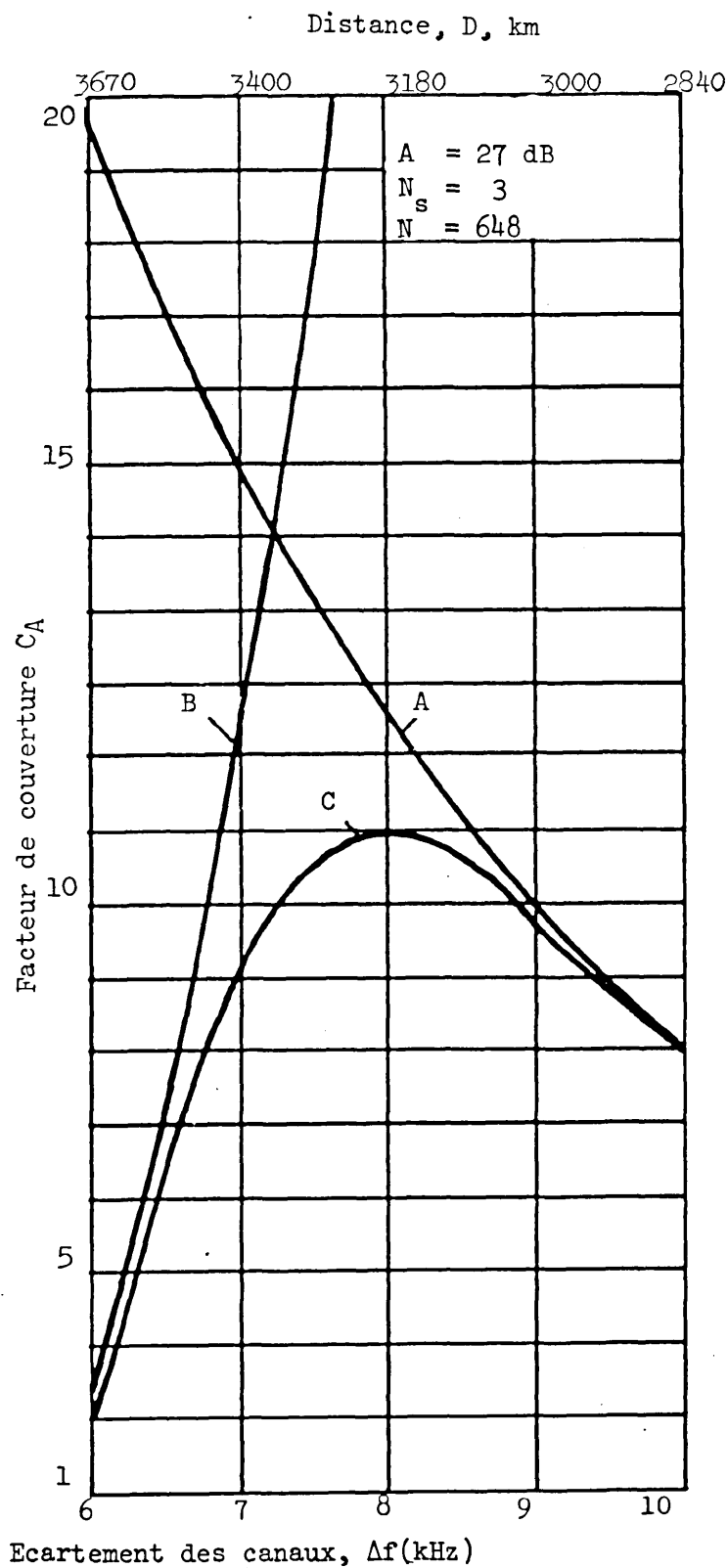


FIGURE 9

Courbes limites du facteur de couverture (rapport de protection en radiofréquence: 27 dB)

- Courbe A : couverture réalisable en présence de brouillage dans le même canal (trois émetteurs)
- Courbe B : couverture réalisable en présence de brouillage provenant d'un canal adjacent (trois émetteurs)
- Courbe C : couverture réalisable quand les deux types de brouillage sont pris en considération.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- C.C.I.R. [1938] Document de la Conférence internationale des radiocommunications, Le Caire, Tome 1, pages 425-433.
- C.C.I.R. [1970-1974] Doc. 10/306, (Japon).
- U.E.R. [mai 1974] Doc. Tech. 3206, Paramètres techniques de la radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques.
- EDEN, H. et MINNE, D., [juin 1969] Détermination des zones de couverture en radiodiffusion sur ondes hectométriques dans le cas de réseaux réguliers, plans et sphériques. Revue de l'U.E.R., 115-A, 109-120.
- EDEN, H. et MINNE, D., [décembre 1973] Couverture de la radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques. Revue technique de l'U.E.R., 142, 262-272.
- SUZUKI, Y. et autres [janvier 1974] Influence of propagation curves on the coverage factor, NHK Laboratories, Note N° 175.
- TÄUMER, F. et MÜLLER, K. [1965] Méthode de prévision du champ pendant la nuit dans la bande 150 - 1 500 kHz sur des distances de 300 à 3.000 km. Commission technique, O.I.R.T., Commission d'études IV, Prague.
- UDALTSOV, A.N. et SCHLYUGER, I.S. [1972] Krivyé rasprostranénia ionosferno volny dlia radiovechtchaltelnogo diapazona (Courbes de propagation de l'onde ionosphérique pour la bande de radiodiffusion), Géomagnétism i aéronomia, 5.
- VILENSKY, I.M., UDALTSOV, A.N. et SCHLYUGER, I.S. [1969] Propagation ionosphérique dans la bande 150 - 1 500 kHz (en russe). Geomagnetizm i aeronomiya, Vol. 9.

BIBLIOGRAPHIE

- C.C.I.R. [1963-1966] Doc. X/134, U.E.R.
- C.C.I.R. [1963-1966] Doc. X/148, France.

RAPPORT 401-2*

RADIODIFFUSION SONORE EN ONDES KILOMETRIQUES

ET HECTOMETRIQUES (BANDES 5 ET 6)

Antennes d'émission à grande efficacité

(Question 13/10)

(1966-1970-1974)

1. Antennes à rayonnement zénithal réduit

Le Doc. X/21 (Etats-Unis d'Amérique), 1963-1966, décrit une antenne à rayonnement zénithal réduit et à grande efficacité, qui consiste en un pylône fractionné en deux sections de 120° (utilisé à la station WOAI à San Antonio, Texas). La valeur de la surface de la zone d'évanouissement est réduite d'environ 50 % (antenne $0,311 \lambda$) à environ 30 % de la zone de service par onde directe, pour une conductivité de 10×10^{-3} S/m. Le document souligne que, dans ce type d'antenne, la distribution du courant doit être rendue aussi sinusoïdale que possible, en utilisant une structure mince et de section uniforme.

Observations. - D'après l'expérience d'autres pays, il est évident qu'une antenne à grande efficacité doit être construite en sections fractionnées, et avoir une hauteur électrique de $2 \lambda/3$ à λ pour obtenir une croissance rapide du champ direct, près du point où il est égal à celui de l'onde indirecte. L'effet de la composante résistive du courant d'antenne sur le diagramme vertical de rayonnement d'un pylône fractionné peut être réduit ou compensé par des alimentations multiples. On doit remarquer que la position et l'étendue de la zone d'évanouissement varient avec les propriétés des couches ionosphériques réfléchissantes.

En pratique, la zone d'évanouissement est un peu plus grande que celle qu'on pourrait calculer. Cela pourrait être dû, d'une part aux variations de la couche E et d'autre part à des réflexions sur la couche F. L'étude des antennes devrait tenir compte de ces effets.

2. Influence du sol sur le diagramme de rayonnement vertical

Le Doc. 10/188 (Royaume-Uni), 1970-1974 donne les résultats d'une étude théorique sur l'influence de la conductivité du sol sur le diagramme vertical d'une antenne verticale classique. L'étude tient compte de la diffraction des ondes sur la surface sphérique de la Terre.

* Adopté à l'unanimité.

La Fig. 1 indique l'affaiblissement du champ si on remplace le sol plan et parfaitement conducteur par un sol non plan et de conductivité finie. Cette figure s'applique à une antenne d'émission verticale, jusqu'à $0,6 \lambda$ de hauteur. Les courbes de la Fig. 1 s'étendent à des rayonnements sous des angles de site négatifs, ce qui se produit s'il y a diffraction sur un sol non plan. Cet angle est défini comme la distance angulaire entre l'antenne et le point où les ondes sont tangentes au sol.

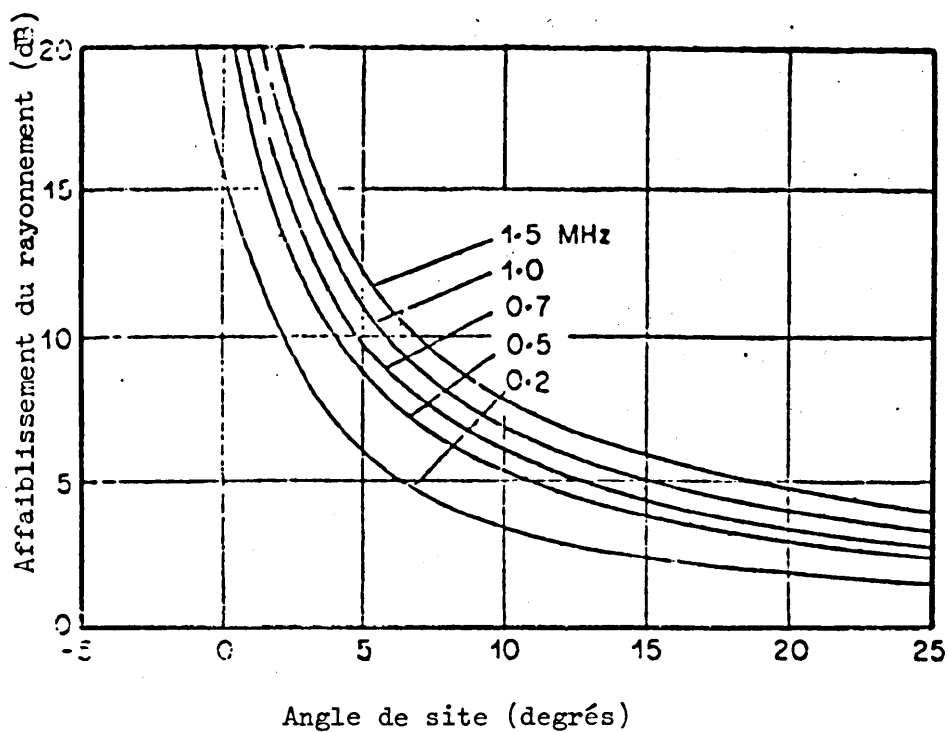
Les pertes dans le sol peuvent être définies par l'affaiblissement du champ qui se produirait si on remplaçait le sol non plan par l'eau de mer. On peut les déduire de la Fig. 1 en soustrayant l'affaiblissement sur la mer de l'affaiblissement sur le sol de conductivité convenable. L'accroissement qui correspond au remplacement du sol réel par la mer est considéré comme un gain dû à la mer.

Le Doc. X/143 (Royaume-Uni), 1966-1969, donne les résultats de mesure de champ qui avaient pour but de vérifier les effets de la conductivité du sol pour les faibles angles de site sur un trajet relativement long de 1.400 km. Les émissions de Rome sur 845 kHz furent mesurées en même temps en divers points sur la côte et à l'intérieur des terres, dans le sud de l'Angleterre. Vu le principe de réciprocité, il importe peu que l'antenne soit utilisée à la réception ou à l'émission.

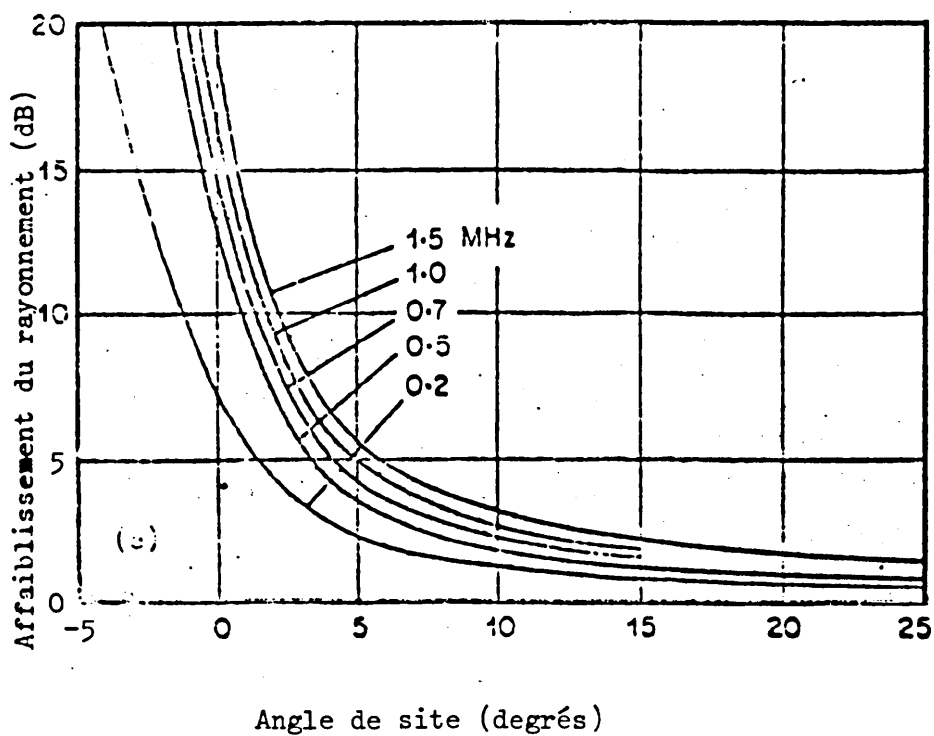
La Fig. 1 indique le diagramme de rayonnement vertical calculé à 1 MHz pour une antenne courte sur un terrain plat de mauvaise conductivité (10^{-3} S/m), de bonne conductivité (10^{-2} S/m) et sur mer (4 S/m). L'eau douce semble correspondre à un sol de bonne conductivité. Le diagramme de rayonnement vertical correspondant à un sol parfaitement conducteur est indiqué à titre de comparaison.

La Fig. 2 indique en valeurs relatives les champs mesurés à l'intérieur des terres, B à K, et sur la côte, A. Cette figure montre aussi que les pertes dues au sol varient avec la distance à la côte, à la fréquence 845 kHz, pour un angle d'arrivée de 4° environ. La Fig. 2 donne aussi les courbes théoriques pour des sols de conductivité de 5×10^{-3} S/m et 10^{-2} S/m qui semblent être les valeurs extrêmes de la conductivité dans la région considérée. On a aussi porté une partie de la courbe théorique pour 2×10^{-2} S/m car on savait que les 10 premiers kilomètres du trajet terrestre présentaient à peu près cette conductibilité. La Fig. 2 prouve nettement l'importance de l'affaiblissement à des emplacements nettement éloignés des côtes.

La perte réelle due au sol, suivant le trajet de propagation pour un ou plusieurs bonds, a été calculée et est indiquée à la Fig. 3, en supposant des réflexions sur la couche E.



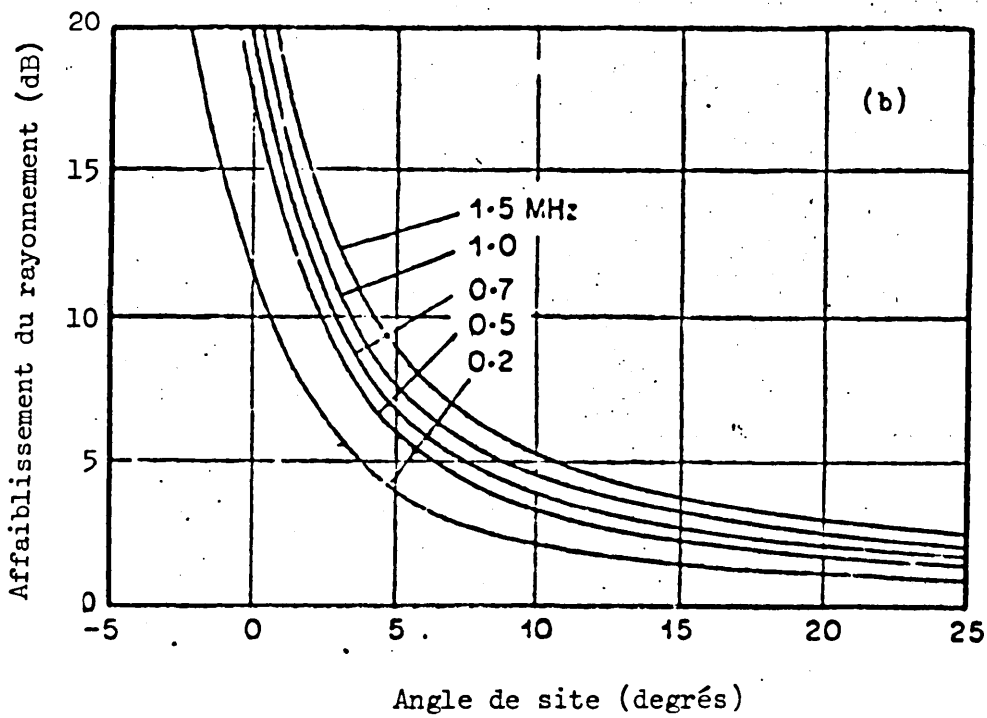
a) Conductivité du sol, 10^{-3} S/m



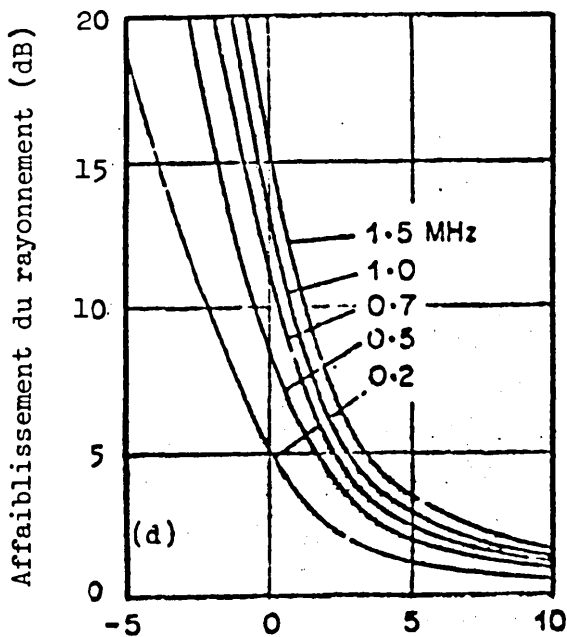
b) Conductivité du sol, 3×10^{-3} S/m

FIGURE 1

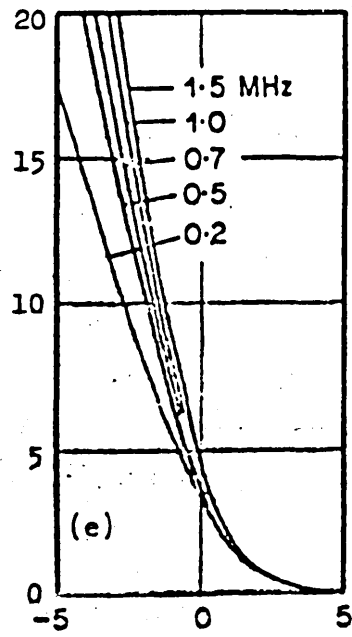
Affaiblissement du rayonnement d'une antenne verticale d'une hauteur inférieure à $0,6 \lambda$ tenant compte de la courbure de la Terre



c) Conductivité du sol, 10^{-2} S/m



d) Conductivité du sol, 3×10^{-2} S/m



e) Conductivité du sol, 4 S/m (mer)

FIGURE 1 (suite)

Affaiblissement du rayonnement d'une antenne verticale d'une hauteur inférieure à $0,6 \lambda$ tenant compte de la courbure de la Terre

On conclut, dans ce document, que pour une émission en ondes hectométriques (bande 6), le rayonnement indirect est plus efficace sous de faibles angles de site, si l'antenne est située sur la côte faisant face à la zone à desservir et que les pertes dues au sol atteignent leur valeur maximale lorsque l'antenne est à 50 km à l'intérieur des terres. Pour obtenir le gain maximal, une étendue de mer d'au moins 100 longueurs d'onde, à partir de la côte, doit se trouver dans la direction de propagation.

Les pertes dues au sol existent également à la réception et à l'émission.

Le Doc. X/31 (Italie), 1966-1969, montre l'influence de la conductivité du sol sur la réception en ondes indirectes.

Des mesures de champ ont été faites sur un trajet de 450 km (correspondant à un angle de site de l'ordre de 24°) simultanément en deux endroits situés l'un au bord de la mer, l'autre dans la même direction, à deux kilomètres environ dans l'arrière-pays. Dans le premier cas la réflexion se faisait sur mer et dans le deuxième cas sur terre. On a utilisé deux émetteurs de Rome travaillant sur 845 et 1 331 kHz.

D'après tous les enregistrements effectués aux deux endroits, on constate que la valeur médiane du champ au bord de la mer dépasse d'environ 0,5 dB, sur les deux fréquences, celle mesurée dans l'arrière-pays. Ce résultat est en accord avec la valeur théorique calculée.

Le Doc. 10/294 (U.R.S.S.), 1970-1974, communique les résultats de mesures comparatives du champ dans la bande de fréquences 150-1 500 kHz. Ces mesures ont été obtenues en deux points de réception où la conductivité du sol était différente. L'un d'eux était situé au voisinage de la mer et l'autre à l'intérieur des terres, à une distance de 60 km de la côte dans la direction de l'émetteur. Ces mesures ont été faites sur différentes fréquences, sur des trajets de transmission de 1.200 à 1.500 km.

Les valeurs médianes du champ ont été mesurées aux deux points de réception et comparées aux valeurs calculées pour une même polarisation de l'onde et pour les caractéristiques correspondantes de la surface du sol en utilisant le module et la phase des coefficients de réflexion de Fresnel.

Les résultats mesurés montrent que l'augmentation du champ d'un émetteur situé au voisinage de la mer, comparativement à celui d'un émetteur situé à l'intérieur des terres, dépend dans une grande mesure de la longueur du trajet de transmission et que, sur de longs trajets, elle peut dépasser 6 dB.

3. Antenne d'émission à grande efficacité

Il doit être souligné que le coût d'une antenne à grande efficacité tant en ce qui concerne les investissements que l'entretien, ne doit pas être considéré isolément, mais par rapport au coût et à l'efficacité d'une station de radiodiffusion dans son ensemble. Par exemple, pour une station comprenant un émetteur dont la puissance de sortie est de 100 kW ou plus, le prix de l'antenne n'est qu'une partie relativement faible de la dépense totale.

3.1 Le Doc. X/57 (République Fédérale d'Allemagne), 1966-1969, décrit une antenne d'émission en ondes kilométriques, qui permet d'accroître la zone de service par son rendement énergétique élevé. Cette antenne fonctionne dans la bande 150-160 kHz. Sa hauteur est d'environ 1/10 de longueur d'onde et sa réponse amplitude-fréquence est plate jusqu'à au moins + 6 kHz de la fréquence porteuse. Son diagramme de rayonnement est celui d'une antenne verticale unipolaire de même hauteur réelle.

3.2 Le Doc. X/190 (Suède), 1966-1969, décrit des expériences effectuées sur l'antenne en ondes kilométriques en anneau de l'émetteur de radiodiffusion de Motala (191 kHz). Il s'agit d'une antenne en ondes stationnaires constituée par un élément rayonnant central (élément vertical de 250 m) et de cinq éléments verticaux de 200 m également répartis sur un cercle de 630 m (0,4 λ). Le champ global à des distances supérieures à 300 km a été enregistré la nuit pendant une durée de plusieurs années en différents lieux, avant et après le remplacement d'une antenne verticale courte par l'antenne en anneau. Les mesures montrent que le changement de l'antenne a augmenté substantiellement la zone sans distorsion d'évanouissement. Le diagramme théorique vertical montre la réduction du rayonnement sous des angles de 40° à 45° et cela a été très bien confirmé par des mesures à l'aide d'un avion.

3.3 Le Doc. 10/28 (République Fédérale d'Allemagne), 1970-1974, décrit une antenne comportant une commutation permettant d'obtenir un service optimal pour le jour et pour la nuit dans la bande 6 (ondes hectométriques). Deux antennes de ce type sont en service dans deux stations de radiodiffusion (Ismaning, 1 602 kHz et Langenberg, 1 586 kHz). L'antenne comprend trois sections séparées d'où une grande souplesse pour régler la distribution du courant, ce qui permet de modifier le diagramme de rayonnement vertical dans de larges limites. Par exemple, il est possible de réduire de 3,5 dB au moins le rayonnement aux faibles angles de site, d'affaiblir jusqu'à un maximum de 38 dB les lobes latéraux, et d'obtenir un gain dans le plan horizontal d'au moins 6 dB. Une combinaison judicieuse de ces éléments permet une amélioration de 3 à 10 dB du rapport signal/brouillage aux fréquences radioélectriques dans le même canal.

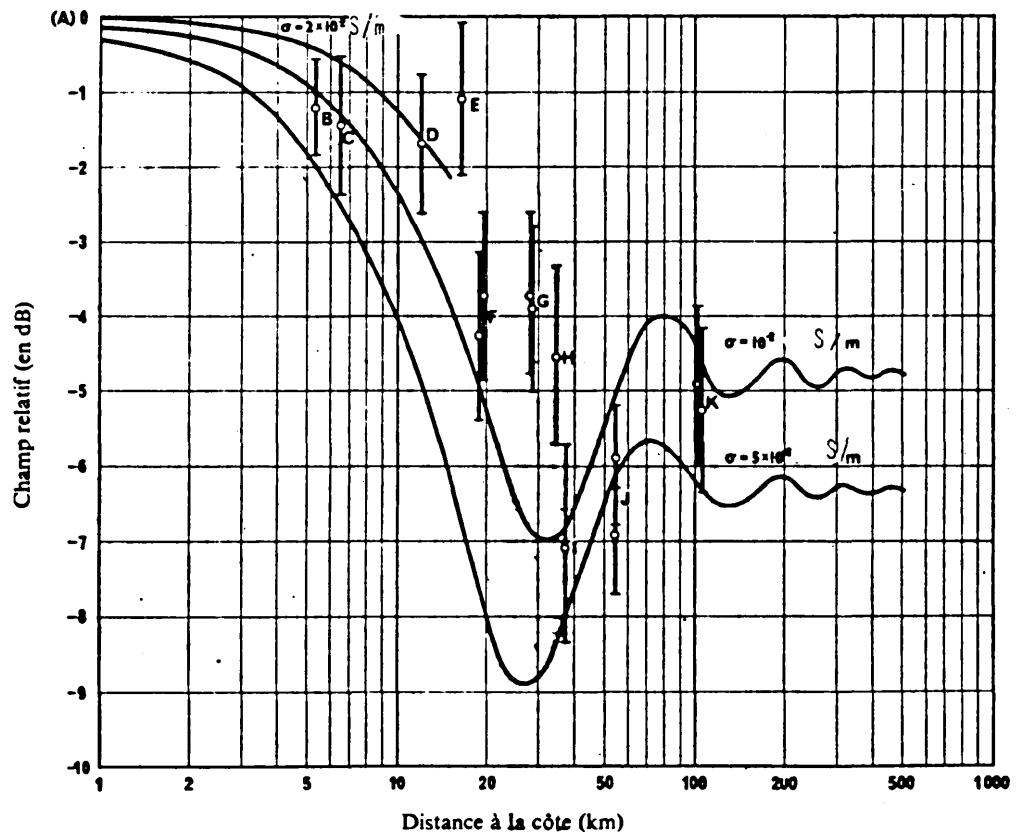


FIGURE 2

Pertes théoriques et mesurées dues au sol

— : pertes théoriques dues au sol
 O : pertes mesurées

(Les lignes verticales indiquent les marges d'erreur)

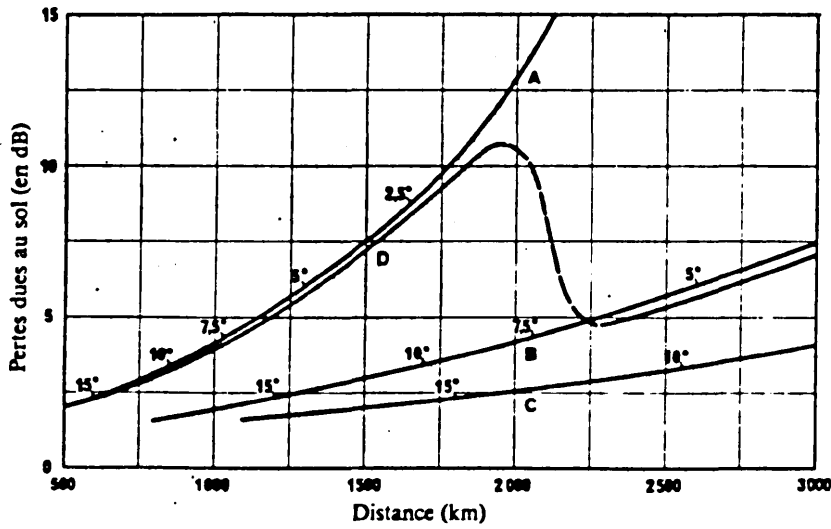
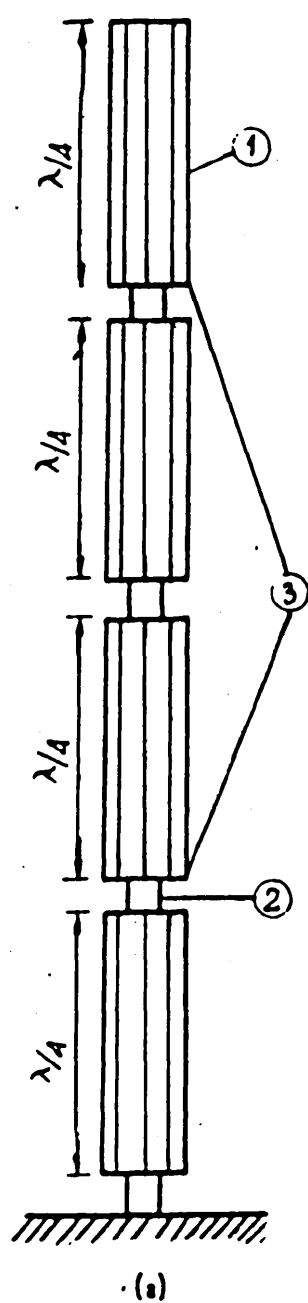


FIGURE 3

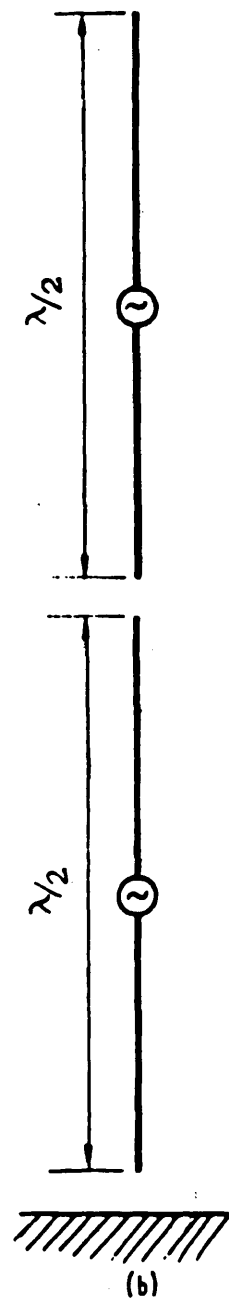
Pertes dues au sol pour une propagation à plusieurs bonds

Les courbes indiquent les pertes dues au sol lorsque l'eau de mer est remplacée par un terrain de conductivité de 5×10^{-4} S/m à une des extrémités du trajet. On suppose une réflexion sur la couche E (à 90 km) et les chiffres figurant sur les courbes indiquent l'angle de site.

Courbe A : un bond Courbe C : trois bonds
 Courbe B : deux bonds Courbe D : pertes effectives pour l'ensemble des bonds



Disposition des cages
le long du pylône



Circuit équivalent

FIGURE 4

Antenne cage à deux demi-ondes

- 3.4 Le Doc. 10/62 (République Populaire de Pologne), 1970-1974, décrit une antenne cage à deux demi-ondes pour la bande 6 (ondes hectométriques). Elle comprend quatre cages en fils de cuivre ou d'aluminium. Ces cages sont portées par un pylône non sectionné et relié à la terre, chaque cage étant reliée galvaniquement au pylône par son extrémité supérieure, et isolée à l'extrémité inférieure (voir Fig. 4). Le document donne les résultats de l'étude théorique, et des mesures sur une maquette en ondes métriques.

En choisissant convenablement l'amplitude et la phase des courants dans les deux doublets, on peut régler la forme du diagramme vertical dans de larges limites. Cela permet de choisir les conditions optimales d'exploitation, pour la période de jour et la période de nuit.

- 3.5 Le Doc. 10/73 (France), 1970-1974, signale l'existence à LILLE-Camphin d'une antenne de radiodiffusion en ondes hectométriques à grand gain, sur 1 376 kHz. Cette antenne est du type "en onde entière" de façon à augmenter le gain horizontal en réduisant le rayonnement dans les directions autres que l'horizon. Elle est alimentée par le milieu, mais sa structure "à jupes" évite de couper le pylône par des isolateurs. Il n'y a pas non plus d'isolateur à la base du pylône. L'adaptation à la ligne d'alimentation s'effectue sans dispositif d'adaptation d'antenne, ni inductance ou capacité classiques. Le réglage du diagramme de rayonnement a été effectué à l'aide de mesures par hélicoptère. On trouvera une description détaillée de cette antenne dans [Lacharnay, 1969].

- 3.6 Le Doc. 10/292 (U.R.S.S.), 1970-1974, décrit une antenne dont le diagramme de rayonnement dans le plan vertical peut être mis en forme. La partie supérieure de l'antenne est constituée par un élément rayonnant vertical de type courant, tandis que la partie inférieure est un élément rayonnant vertical pourvu d'une réactance sous forme d'une boucle en court-circuit connectée à base. Pour en réduire l'impédance caractéristique, on suspend des fils inclinés à la partie supérieure de l'antenne. Un écran vertical en fils est fixé à sa partie inférieure, depuis le sol jusqu'à une hauteur $H_1 = 0,4 H$.

La mise en forme du diagramme de rayonnement dans le plan vertical se fait en réglant la répartition du courant à l'aide de lignes à constantes réparties. L'antenne est dotée de propriétés anti-évanouissement dans une large bande de fréquences et son gain peut atteindre le double de celui d'une antenne demi-onde alimentée à la base.

Elle peut être utilisée dans la bande des ondes hectométriques (bande 6) avec régulation du courant et dans la bande des ondes kilométriques (bande 5) lorsqu'il y a un ventre d'intensité à l'extrémité inférieure de l'écran.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

LACHARNAY, S. [1969] Nouvelle antenne hectométrique à grand gain à l'émetteur de radiodiffusion de LILLE-Camphin (antenne à jupe). Revue Française de Radiodiffusion et de Télévision, 11.

BIBLIOGRAPHIE

AIZENBERG, G.Z., BIELOUSOV, S.P., LINDBERG, A.H. et JAMPOSLKIJ, W.S. [1961], Antifadingowa antena dla radiowieszczenia (Une antenne antifading pour la radiodiffusion), Radiotechnika 16, 12, 21-30.

ANDERSEN, J.B. [1963], Reception of sky-wave signals near a coastline. Journ. of Research, NBS 67D, 3, 325-330.

ANDERSEN, J.B. [1963], The radiation field from a vertical dipole on an inhomogeneous ground. Electromagnetic Waves and Antennas (ed by E.C. Jordan), 1099-1112, Oxford, Pergamon Press.

BEM, D.J. [1973] Antena klatkowa z kształtowaną charakterystyką promieniowania w płaszczyźnie pionowej. (Une antenne cage avec mise en forme du diagramme de rayonnement vertical). Prace Instytutu Xącznosci, XX, 1(69).

BIELOUSOW, S.P., [1967], Srednielowolnowyje anteny s regulirujemym raspredielenjem toka (Antenne à répartition du courant réglable, pour ondes hectométriques) Wiestnik swiazi, N° 8.

CLEMMOW, P.C. [1953], Radio propagation over a flat earth across a boundary separating two different media. Phil. Trans. T. Soc., Séries A, 246, 905, 1-55.

COLLARD, M. [octobre 1973], Réduction de mesures du champ à des conditions normalisées en vue de l'étude de la propagation ionosphérique en ondes hectométriques et kilométriques. Revue de l'U.E.R.-technique, N° 141.

JEFFERS, C.L. [novembre 1948]. An antenna for controlling the non-fading range of a broadcasting station. Proc. IRE, Vol. 36, 1426-1431.

JEFFERS, C.L. et KERSHNER, S.W. Design and performance measurements on a new anti-fade radio station WOAI.

KERSHNER, S.W. et JEFFERS, C.L., [mars 1960]. Design and performance measurements on a new anti-fade antenna for radio station WOAI. IRE Transaction on Broadcasting, Vol. B.C.6, 1.

- KNIGHT, P. et THODAY, B.D.C., [1969], Influence of the ground near transmitting and receiving aerial on the strength of medium-frequency sky-waves. Proc. I.E.E., 116, 6, 911-919.
- MAGNUSSON, E. et STRANDEN, F. [juin 1960]. Le projet de la nouvelle station d'émissions en ondes longues de Motala. Revue de l'U.E.R. A, 107-113.
- MALLACH, P. [1971]. Gestaltung des Vertikaldiagramms von Mittelwellen-Antennen (Design of vertical pattern of MF antennae). Nachrichtentechn. Fachber. 41, Hörrundfunk 2 - VDE - Verlag, Berlin.
- MILLAR, R.F. [1967], Propagation of electromagnetic waves near a coastline on a flat earth. Radio Sci. (U.S.), 2, 261-286.
- MONTEATH, G.D. [1951]. Application of the compensation theorem to certain radiation and propagation problems. Proc. I.E.E., 98, IV, 1, 23-30.
- MONTEATH, G.D. [mars 1958]. The effect of the ground constants, and of an earth system, on the performance of a vertical medium-wave aerial. Proc. I.E.E. Vol. 105, Part C, 7, 292.
- PAGE, H. et MONTEATH, G.D. [mai 1965]. The vertical radiation patterns of medium-wave broadcasting aeri^{als}. Proc. I.E.E., Vol. 102, Part B, 3, 279.
- SPONZILLI, L. [1968]. Confronto tra ricezioni notturne indirette di onde medie su terra e su mare (Comparaison des réceptions, de nuit, de l'onde d'espace en ondes moyennes sur terre et sur mer). Elettronica, 3, IIIe trimestre.
- WILLIAMS, H.P. [mai 1947]. The broadcast antenna : presented in the 1947 Radio Convention of the British Institute of Radio Engineers.

RAPPORT 457-1*

RADIODIFFUSION EN ONDES KILOMETRIQUES, HECTOMETRIQUES ET DECAMETRIQUES

(BANDES 5, 6 ET 7)

Largeur de bande nécessaire à l'émission

(1970 - 1974)

1. Introduction

Dans un système de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude avec double bande latérale, la largeur de bande à l'émission est environ deux fois plus grande que la largeur de bande audiofréquence et a donc une très grande influence sur la qualité de réception. D'autre part, pour un écartement donné des canaux adjacents, il y a intérêt à limiter la largeur de bande à l'émission, afin d'éviter les brouillages entre ces canaux.

La différence que l'on constate entre la largeur de bande à l'émission en radiodiffusion sonore et la largeur de bande des récepteurs est à l'origine d'études /C.C.I.R., 1966-1969 a et b; Netzband et Süverkrübbe, 1968; Süverkrübbe, 1969; Petke, 1973/ dans lesquelles on a cherché à améliorer le système de transmission. Il serait sans doute utile de fixer la largeur de bande audiofréquence à l'émission, ainsi que la largeur de bande globale des récepteurs, et de les déterminer à l'aide de filtres limiteurs de bande. Si ces deux largeurs de bande sont presque égales et si leur relation avec l'écartement des canaux est satisfaisante, le système de transmission permettra d'utiliser pleinement la largeur de bande transmise et d'obtenir un rapport de protection optimal entre canaux adjacents /Eden, 1967/.

2. Evaluation de la largeur de bande nécessaire à l'émission

Il est évident que la largeur de bande à l'émission ainsi que la bande passante globale des récepteurs doivent être choisies de telle manière qu'il n'y ait pas de dégradation inutile de la qualité de réception, ni d'augmentation du brouillage dans le canal adjacent / Netzband et Süverkrübbe, 1968/. Dans cet ordre d'idée, une bonne solution consisterait à choisir la même valeur pour l'écartement des canaux, la largeur de bande à l'émission et la bande passante des récepteurs. De plus, la caractéristique de la limitation de bande à l'émission et la sélectivité des récepteurs devraient être des courbes parfaitement rectangulaires et les émetteurs ne devraient pas introduire de distorsions non linéaires. Dans ces conditions, il n'y aurait pas de brouillage dans les canaux adjacents.

Cependant, dans la pratique, aucune de ces conditions n'est remplie. En particulier, la largeur de bande à l'émission est généralement beaucoup plus grande que l'écart entre canaux. On a ainsi été amené à construire des récepteurs domestiques à largeur de bande réduite, d'où une diminution de la qualité de reproduction du son. D'un autre côté, la diminution du brouillage dans le canal adjacent n'est pas suffisante. Cependant, pour la planification, il faudra déterminer une valeur suffisante du rapport de protection relatif aux fréquences radioélectriques (Rapport 400-2).

* Adopté à l'unanimité.

3. Considérations générales

- 3.1 Il existe une relation bien déterminée entre la largeur de bande du système, l'écartement des porteuses et le rapport de protection aux fréquences radioélectriques pour le canal adjacent [Süverkrübbe, 1969; Petke, 1973_].
- 3.2 On peut déterminer la valeur théorique optimale de la protection contre les brouillages dans le canal adjacent en utilisant un récepteur idéal avec une bande passante "rectangulaire". Dans ce cas, le rapport de protection aux fréquences radioélectriques est essentiellement déterminé par la distorsion non linéaire de l'émetteur.
- 3.3 Le spectre d'énergie, y compris les rayonnements hors bande dus aux non-linéarités de l'émetteur, a fait l'objet d'une étude théorique [Kettel, 1968_]. Une étude expérimentale de ce spectre dans le cas d'un émetteur à ondes hectométriques de grande puissance [C.C.I.R., 1966-1969 c] montre que la notion de largeur de "bande occupée", telle qu'elle est définie à l'article 1, numéro 90 du Règlement des radiocommunications ne permet pas d'avoir une idée exacte de l'influence de la limitation de la largeur de bande sur le brouillage dans le canal adjacent.

4. Résultats des mesures

- 4.1 On a effectué en République Fédérale d'Allemagne une série de mesures des rapports de protection aux fréquences radioélectriques pour plusieurs valeurs des largeurs de bande basse fréquence, égales à l'émission et à la réception, et pour plusieurs valeurs de l'écart entre canaux [Süverkrübbe, 1969_], conformément à la méthode de mesure objective à deux signaux donnée dans le Rapport 399-2. On a utilisé, pour ces mesures, un récepteur commercial de haute qualité ayant une bande passante presque idéale. La relation entre les paramètres considérés est illustrée par la Fig. 1. Pour une valeur donnée de l'écartement des canaux, il existe de nombreux couples de valeurs des largeurs de bande audiofréquence et du rapport de protection entre canaux adjacents. Toutefois, si l'on a choisi seulement deux paramètres, le troisième se trouve automatiquement déterminé.
- 4.2 Les documents [C.C.I.R., 1966-1969 a et b_] donnent les descriptions des essais d'écoute subjectifs tandis que [Netzband et Süverkrübbe, 1968_] contient les résultats des mesures du rapport signal/brouilleur aux fréquences radioélectriques, selon la méthode objective à deux signaux donnée dans le Rapport 399-2. Dans les deux cas, la bande était réduite à l'aide d'un filtre passe-bas placé à l'entrée audiofréquence de l'émetteur.

Aux Etats-Unis d'Amérique, on a utilisé deux récepteurs normaux, un récepteur "de poche" à transistors et un récepteur de voiture à transistors. Au Royaume-Uni, on a utilisé quatre récepteurs portatifs à transistors et un récepteur ordinaire à tubes. En République Fédérale d'Allemagne, les récepteurs utilisés étaient : les récepteurs de référence MEK et MBF de l'U.E.R. décrits dans [U.I.T., 1964_], cinq récepteurs domestiques de fabrication courante en République Fédérale d'Allemagne et deux récepteurs spéciaux munis de filtres mécaniques en fréquence intermédiaire.

Dans ces trois pays, on n'a pas constaté de dégradation sensible de la qualité de réception, avec des récepteurs de type courant lorsque la largeur de bande à l'émission était limitée par un filtre passe-bas inséré à l'entrée de l'émetteur, dont la fréquence de coupure était égale à environ la moitié de l'écartement entre canaux adjacents.

Le Tableau 1 donne les valeurs moyennes de l'amélioration du brouillage entre canaux adjacents, avec des récepteurs de type courant, due à la limitation de la largeur de bande à l'émission. Les valeurs indiquées entre parenthèses correspondent aux valeurs obtenues en République Fédérale d'Allemagne avec un récepteur spécial équipé de filtres mécaniques.

Les valeurs absolues des rapports de protection aux fréquences radioélectriques pour le canal adjacent varient dans une très large mesure selon la nature des programmes utilisés dans les essais subjectifs des Etats-Unis d'Amérique. Néanmoins, les valeurs moyennes de l'amélioration concordent assez bien avec les valeurs déduites des mesures objectives effectuées en République Fédérale d'Allemagne.

TABLEAU 1
Amélioration du brouillage dans le canal adjacent

Rapport largeur de bande base fréquence/ écartement des canaux	Ecartement des canaux Δf (kHz)	Fréquence de coupure du filtre passe-bas (kHz)	Essais subjectifs (S) ou mesures objectives (O)	Valeur moyenne de la diminution du brouillage dans le canal adjacent (dB)
0,45	10	4,5	O (R.F.A.)	12 (29)
0,5	9	4,5	O (R.F.A.)	5 (20)
0,5	9	4,5	S (R.U.)	3,6
0,525	10	5,25	S (U.S.A.)	3 (1)
0,5625	8	4,5	O (R.F.A.)	2 (7)
0,5625	8	4,5	S (R.U.)	0,9
0,643	7	4,5	S (R.U.)	0,3
0,7	7,5	5,25	S (U.S.A.)	négligeable

- (1) Ce chiffre représente la différence entre les valeurs extrêmes du rapport signal/brouilleur aux fréquences radioélectriques correspondant à "juste perceptible" obtenues avec et sans filtre [C.C.I.R., 1966-1969a].

4.3 Les relations entre la largeur de bande, l'écartement des porteuses et le rapport de protection aux fréquences radioélectriques pour le canal adjacent ont été étudiées par l'U.E.R. Les travaux ont été basés sur l'hypothèse que l'écartement des porteuses et le rapport de protection aux fréquences radioélectriques pour le canal adjacent ont des valeurs prédéterminées. On a également admis que tout système futur de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude normalisé devait être compatible avec les récepteurs existants.

On a utilisé les valeurs du rapport de protection aux fréquences radioélectriques de l'Avis 449-2 et l'on a donc tenu compte des caractéristiques du récepteur courant actuel. On a supposé que l'écartement entre canaux était de 8 kHz, ce qui assurera vraisemblablement la meilleure utilisation du spectre (voir le Doc. 10/280 (U.E.R.), 1970-1974). Le rapport de protection relatif aux fréquences radioélectriques est alors de -20 dB.

Dans ces conditions, la détermination de la bande audiofréquence que peut transmettre un système de radiodiffusion MA/DBL, convenablement conçu, peut se calculer au moyen de la méthode numérique de détermination du rapport de protection aux fréquences radioélectriques [Petke, 1973].

Tout système de radiodiffusion à modulation d'amplitude a , en principe, le même effet sur la qualité de réception qu'un filtre passe-bas. Les systèmes à modulation d'amplitude conçus en fonction de l'écartement de canaux et des rapports de protection indiqués ci-devant peuvent différer par la largeur de bande et la pente de coupure de la réponse amplitude-fréquence globale. Les études ont donc couvert cet aspect du problème de la qualité de réception.

On a supposé que l'influence de la réponse amplitude/fréquence globale de l'ensemble du système est également répartie entre extrémités émettrice et réceptrice. Cette méthode n'est cependant qu'une première approximation et il faudrait effectuer des études supplémentaires dans des conditions différentes.

Les calculs ont montré que n'importe laquelle des trois courbes amplitude/fréquence de la Fig. 3 donnera un rapport de protection satisfaisant pour le canal adjacent, dans un système à canaux de 8 kHz. Les courbes de la Fig. 2 indiquent les couples de valeurs de largeur de bande b et de pente de coupure a_0 qui sont nécessaires aux extrémités émettrices et réceptrices, dans un système de radiodiffusion sonore en modulation d'amplitude. La courbe en trait plein s'applique à un récepteur à filtre à crevasse éliminant le battement avec la porteuse du canal adjacent. La courbe en pointillé s'applique au cas où l'on n'utilise pas ce filtre. Les points marqués ①, ②, et ③ sur la courbe de la Fig. 2 correspondent aux caractéristiques de l'équipement terminal qui fournirait les réponses amplitude/fréquence correspondant respectivement aux courbes A, B et C de la Fig. 3.

Les résultats obtenus sont en très bon accord avec la Fig. 1, qui doit être considérée comme correspondant aux conditions limites puisqu'elle s'applique au cas idéal d'une caractéristique passe-bande rectangulaire. La bande passante du système décroît donc rapidement en même temps que la pente de coupure.

4.4 Résultats des essais d'écoute

On a utilisé trois filtres passe-bas dont les caractéristiques sont celles des courbes A, B et C de la Fig. 3 pour simuler l'influence d'un écartement entre canaux de 8 kHz et d'un rapport de protection de -20 dB pour le canal adjacent sur la qualité de reproduction d'un système de radio-diffusion sonore en modulation d'amplitude.

Les essais d'écoute subjectifs ont montré très nettement qu'on obtenait une meilleure impression de qualité avec les courbes A et B qu'avec la courbe C. La différence de qualité entre les courbes A et B est très faible, ce qui peut présenter un intérêt économique considérable puisque la pente de coupure du récepteur est de 20 dB/octave inférieur pour la courbe B par rapport à la courbe A.

5. Caractéristiques de bande passante aux fréquences radioélectriques et intermédiaires des récepteurs courants

On a collationné dans divers pays, les différentes caractéristiques des récepteurs dont certaines sont reproduites dans le Rapport 333.1 (New Delhi, 1970). Il est indiqué, dans ce texte, que les valeurs de la bande passante aux fréquences radioélectriques et intermédiaires, mesurées entre les points à 6 dB, se situent entre 5 et 10 kHz. Il convient de noter que la bande audiofréquence à la réception représente environ la moitié de ces valeurs. Les valeurs les plus élevées qui aient été relevées correspondent aux récepteurs de "première catégorie" à sélectivité variable, utilisés en U.R.S.S. [C.C.I.R., 1966-1969d].

Il existe, bien entendu, de nombreux récepteurs dont la bande passante est encore plus étroite que celles indiquées dans les textes cités en référence, mais il a été indiqué que dans certaines régions, il existe aussi des récepteurs qui ont une bande passante plus large.

6. Utilisation de la limitation de bande en exploitation

Actuellement, on exploite, à titre expérimental, un nombre sans cesse croissant d'émetteurs à ondes kilométriques et hectométriques à bande limitée. Les pays ci-après exploitent un ou plusieurs émetteurs à grande puissance de cette façon : Allemagne (République Fédérale d'), Autriche, Finlande, France, Italie, Luxembourg, Monaco, Pays-Bas, Royaume-Uni et Suède. [U.E.R., 1971].

Cette évolution a commencé en 1966 et les réactions du public quant à l'effet sur la qualité des programmes ont été négligeables. En revanche, on a signalé une amélioration de la réception dans plusieurs cas où le brouillage dans le canal adjacent avait précédemment causé une grande gêne.

7. Emission et réception à faible largeur de bande, avec harmoniques

On a décrit une nouvelle méthode [Gassmann, 1972 et 1973], applicable dans les bandes 5, 6 et 7, qui permet d'améliorer la qualité du son à la réception, en utilisant un signal modulant audiofréquence à spectre étroit. Ce système est fondé sur le principe suivant : l'oreille humaine n'est pas capable d'identifier les harmoniques supérieurs à environ 4 kHz par rapport au son fondamental.

On améliore la qualité du son en ajoutant des harmoniques artificiels produits dans le récepteur. L'amplitude de ces harmoniques est réglée par une fréquence pilote à la partie supérieure de la bande audiofréquence. La fréquence pilote fournit l'information sur l'amplitude des harmoniques, ainsi que le signal de synchronisation nécessaire, sous la forme d'une modulation à bande latérale unique.

8. Spectre hors-bande des émissions de radiodiffusion sonore à double bande latérale

L'Avis 328-3, § 2.5.1 donne les courbes limites du rayonnement hors-bande des émissions de radiodiffusion à modulation d'amplitude à double bande latérale. Les courbes ne sont pas en relation fixe avec le niveau de la porteuse, puisque cette relation dépend :

- du taux de modulation de l'émetteur (moyenne quadratique);
- de la largeur de bande nécessaire à l'émission;
- de la largeur de bande de l'analyseur de spectre employé pour la mesure.

Cependant, ces courbes limites dépendent par une relation fixe du niveau maximal des composantes des bandes latérales, qui dépend seulement de la répartition de la puissance dans ces bandes.

Des renseignements détaillés sur les valeurs correspondantes sont contenus dans le § 9 du Rapport 325-2.

9. Largeur de bande nécessaire des émissions dans la bande 7 (ondes décamétriques)

- 9.1 Des essais d'écoute ont été effectués, en vue de déterminer la qualité de réception possible en ondes décamétriques et les conséquences qui peuvent découler de la réduction de la largeur de bande. Ces essais ont permis de constater que, si on limite la bande des audiofréquences à 6 400 Hz (fréquence de modulation la plus élevée), il s'ensuivra une baisse de la qualité de réception, mais que cette baisse ne sera pas très sensible. Au cours d'autres essais, on a limité la bande audiofréquence à 5 000 Hz (fréquence de modulation la plus élevée); dans ce cas on a enregistré, en revanche, une baisse de qualité tout à fait sensible.

- 9.2 Dans la bande 7 (ondes décamétriques), il est courant d'avoir un écartement de 5 kHz entre canaux. En conséquence, on juge souhaitable d'utiliser dans cette bande, un signal de modulation ayant une largeur de bande de 5 000 Hz; en aucun cas, cette largeur de spectre ne devrait dépasser 6 400 Hz.

10. Conclusions

- 10.1 La Fig. 1 illustre l'interdépendance du rapport de protection aux fréquences radioélectriques dans les canaux adjacents, de l'écartement des canaux et de la largeur de bande audiofréquence dans l'hypothèse où la largeur de bande basse fréquence à l'émission est égale à celle du récepteur. Lorsqu'on choisit deux des trois paramètres, le troisième est alors fixé. En règle générale, l'écartement des canaux, ainsi que le rapport de protection aux fréquences radioélectriques sont imposés. On peut alors transmettre la largeur de bande audiofréquence indiquée à la Fig. 1, mais la largeur de bande du signal rayonné ne peut être pleinement utilisée que si la sélectivité des récepteurs correspond à celle du filtre basse fréquence de l'émetteur.
- 10.2 Les mesures effectuées au Royaume-Uni, aux Etats-Unis d'Amérique et en République Fédérale d'Allemagne montrent qu'une réduction du brouillage dans le canal adjacent peut être obtenue si la bande à l'émission est approximativement égale à l'écartement des canaux. Les essais effectués en laboratoire et les expériences pratiques ont révélé que la réduction de la largeur de bande à l'émission n'a pas entraîné de détérioration notable de la qualité de réception avec les récepteurs de radiodiffusion domestiques courants. Ainsi, les méthodes de limitation de bande pourraient conduire à une utilisation plus efficace des bandes des ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques pour la radiodiffusion.
- 10.3 En radiodiffusion sonore en modulation d'amplitude, la prédétermination du rapport de protection pour le canal adjacent et de l'écartement entre canaux est équivalente à la détermination de la qualité de reproduction en audiofréquence. Par exemple, avec un écartement de 8 kHz et un rapport de protection de 20 dB, la Fig. 2 montre qu'avec une valeur raisonnable pour la pente de coupure, on peut difficilement dépasser une largeur de bande de 4,2 kHz. Il est, en outre, évident d'après la figure que toute réduction de la pente de coupure entraîne une réduction de la bande passante en audiofréquence.

Les essais subjectifs ont montré que, en restant dans les limites de la Fig. 2, la qualité de réception dépend essentiellement de la largeur de bande en audiofréquence. Cependant, lorsqu'on s'approche des limites, une légère augmentation de bande passante en audiofréquence peut impliquer une importante augmentation de la pente de coupure alors que l'amélioration de la qualité de réception peut n'être qu'à peine décelable.

On peut admettre que des études analogues pour des écartements de 9 ou 10 kHz conduiraient à des résultats correspondants, présentant les mêmes tendances. La division de la réponse amplitude/fréquence globale en deux moitiés ne correspond pas nécessairement à l'optimal. Les calculs montrent, au contraire, que le rapport de protection pour le canal adjacent est plus sensible à une modification de la réponse amplitude/fréquence à la réception qu'à l'émission. Il peut cependant ne pas être souhaitable du point de vue économique d'augmenter la sélectivité du récepteur. De nouvelles études sont donc nécessaires avant d'arriver à une décision finale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- C.C.I.R. [1966-1969a], Doc. X/16, Etats Unis d'Amérique.
- C.C.I.R. [1966-1969b], Doc. X/142, Royaume-Uni.
- C.C.I.R. [1966-1969c], Doc. X/212, République Fédérale d'Allemagne.
- C.C.I.R. [1966-1969d], Doc. X/196, U.R.S.S.
- U.E.R. [août 1971], Doc. Technique N° 3088. Modulation processing techniques in AM sound broadcasting.
- EDEN, H. [décembre 1967], Réflexions sur une réorganisation de la radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques. Revue de l'U.E.R., 106-A, 242-251.
- GASSMANN, G.-G. [octobre 1972], Hochwertige Musikübertragung mit nur 7 kHz Bandbreite Bericht über die 9. Tonmeistertagung, Köln, 26. bis 29.10.1972, herausgegeben vom Verband deutscher Tonmeister. (Transmission musicale de haute qualité avec une largeur de bande de 7 kHz seulement). Rapport de la 9ème réunion des ingénieurs du son, Cologne, 26-29 octobre 1972, édité par "Verband deutscher Tonmeister" (Association des ingénieurs du son allemands.)
- GASSMANN, G.-G. [novembre 1973], Verbesserung der AM-Übertragungsqualität bei unveränderter Systembandbreite. Vortrag der NTG-Tagung "Hörrundfunk", Düsseldorf. (Amélioration de la qualité de transmission en modulation d'amplitude sans modification de la largeur de bande, mémoire présenté à la Conférence NTG "Radiodiffusion sonore", Düsseldorf, novembre 1973.)
- U.I.T. [1964] Conférence Africaine de Radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques. Rapport de la Réunion préparatoire d'experts, Genève, 1964 (§ 3.1, 11 et Appendice 2, 85-95).
- KETTEL, E. [février 1968], Le procédé en bande latérale unique compatible est-il avantageux en radiodiffusion en modulation d'amplitude? Revue de l'U.E.R., 107-A, 8-15.
- NETZBAND, R. et SÜVERKRÜBBE, R. [juin 1968], Limitation de la largeur de bande à l'émission et à la réception en radiodiffusion à modulation d'amplitude. Revue de l'U.E.R., 109-A, 115-124.
- PETKE, G. [octobre 1973], Calcul du rapport de protection RF en modulation d'amplitude. Revue de l'U.E.R. - Technique, 141, 227-234.
- SÜVERKRÜBBE, R. [août 1969], Largeur de bande et écartement des canaux en radiodiffusion à modulation d'amplitude. Revue de l'U.E.R., 116-A, 161-164.

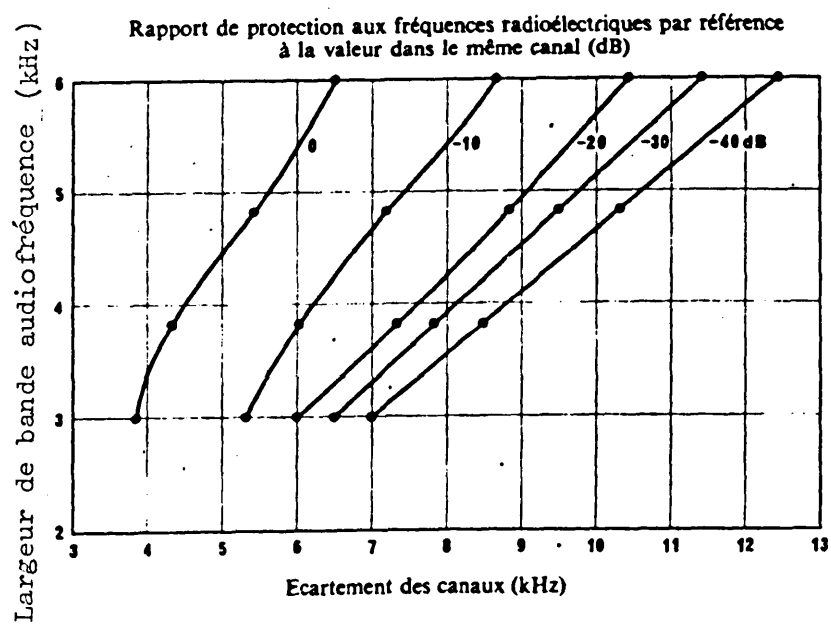


FIGURE 1
Utilisation du spectre

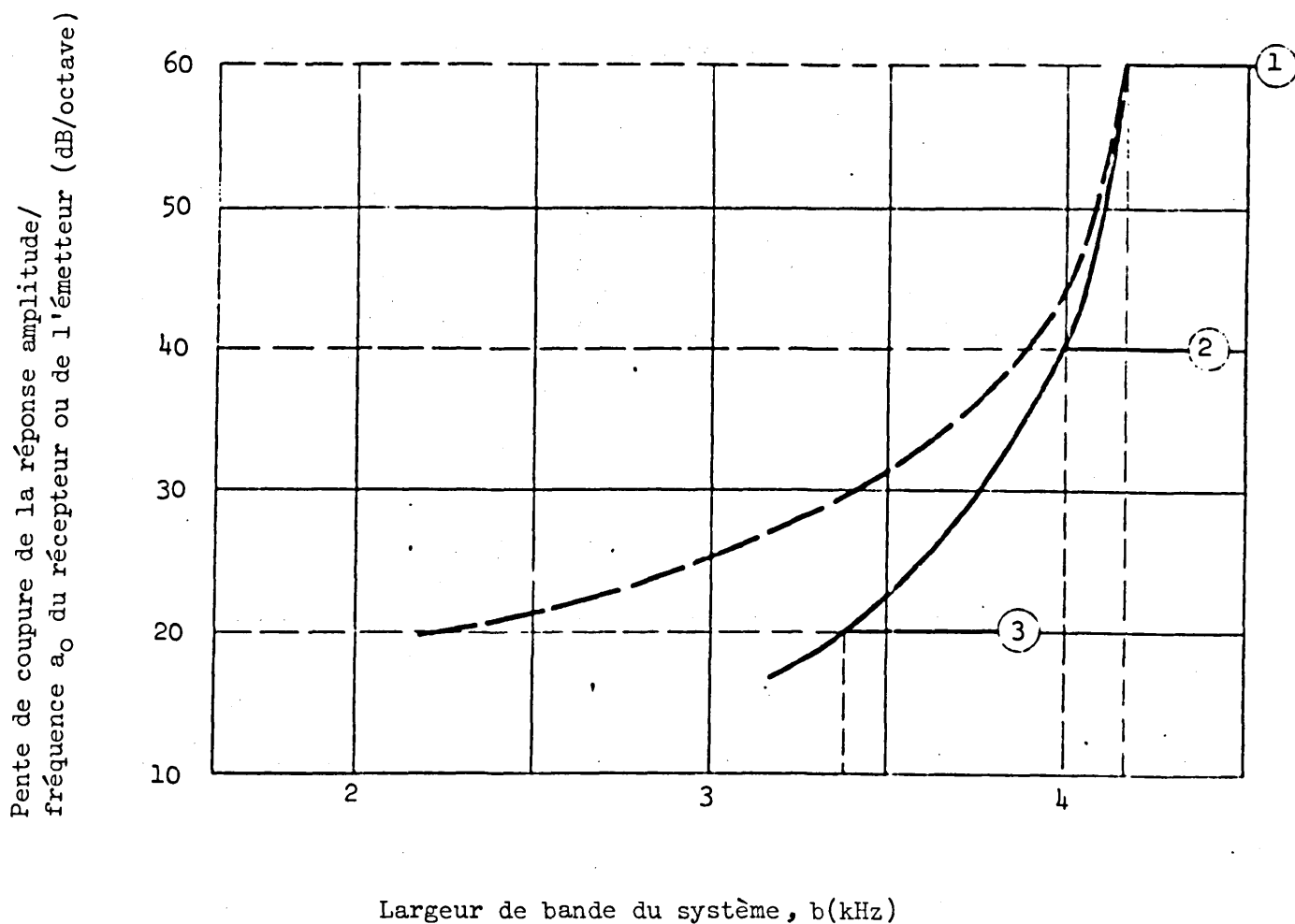


FIGURE 2

Caractéristiques d'un système de radiodiffusion sonore
en modulation d'amplitude donnant une qualité optimale

Hypothèse de base :

Ecartement entre canaux : 8 kHz
Rapport adjacent de protection relatif pour
le canal : - 20 dB

- : Caractéristique avec filtre à crevasse
pour éliminer le battement de porteuses
- - - - - : Caractéristique sans filtre

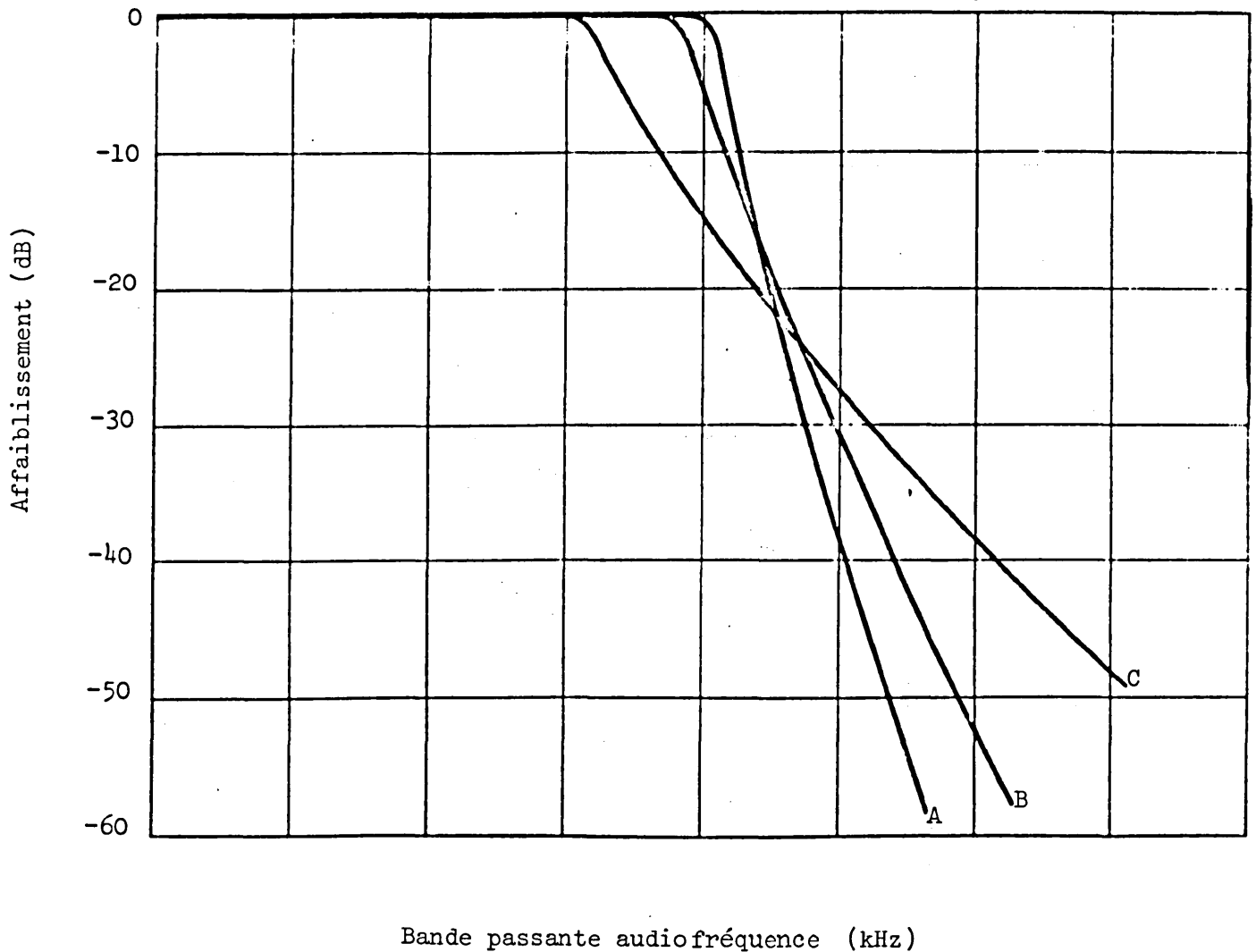


FIGURE 3

Courbes de réponse amplitude/fréquence globales d'un
système de radiodiffusion sonore en modulation d'amplitude
donnant une qualité de reproduction optimale

- Courbe A : pentes de coupure globales pour le système - 120 dB par octave
Courbe B : pentes de coupure globales pour le système - 80 dB par octave
Courbe C : pentes de coupure globales pour le système - 40 dB par octave

RAPPORT 458-1*

RADIODIFFUSION SONORE EN ONDES KILOMETRIQUES,
HECTOMETRIQUES ET DECAMETRIQUES (BANDES 5, 6 ET 7)

(Question 25/10)

(1970 - 1974)

1. Introduction

La Question 25/10 est relative à la possibilité de normaliser sur le plan mondial un ou plusieurs systèmes de radiodiffusion sonore. Actuellement, l'étude de ce problème complexe n'est pas suffisamment avancée pour cela. Le présent Rapport se borne donc à rassembler les renseignements disponibles pour encourager les administrations, les organismes de radiodiffusion et les firmes industrielles à réfléchir au problème et à entreprendre les études propres à le résoudre.

Actuellement la radiodiffusion sur ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques, contrairement à la radiodiffusion sonore en ondes métriques et la télévision, est exploitée avec une absence presque totale de caractéristiques de transmission normalisées à l'échelon international, sauf en ce qui concerne l'écartement des canaux et les valeurs numériques des fréquences porteuses (à signaler toutefois que ces caractéristiques diffèrent elles-mêmes, pour les bandes kilométriques et hectométriques, d'une région à une autre). Les autres caractéristiques de transmission varient d'un pays à l'autre, voire même d'un émetteur à l'autre [U.E.R., 1971].

2. Systèmes susceptibles d'être normalisés

La liste ci-après de ces systèmes ne saurait être considérée comme complète actuellement. On trouvera en [Haviland, 1969] une étude comparative de plusieurs d'entre eux. Cette étude montre aussi que pour définir un système il faut tenir compte des brouillages entre les émetteurs; l'étude fait ressortir l'importance d'une définition précise de l'écartement des canaux.

* Adopté à l'unanimité

Modulation	Démodulation	Désignation codée
Modulation en amplitude, à double bande latérale	Démodulation d'enveloppe	MA-DBL-ENV
Modulation en amplitude à double bande latérale	Démodulation synchrone	MA-DBL-SYNC
Modulation en amplitude à bande latérale unique compatible	Démodulation d'enveloppe	BLUC
Modulation en amplitude à bande latérale unique	Démodulation synchrone	BLU-SYNC
Modulation de fréquence (bande étroite)		MF

Chacun de ces systèmes peut être associé à des dispositifs de traitement de la modulation (voir la Note). Si un tel dispositif est nécessaire dans le récepteur pour tirer pleinement parti du dispositif correspondant dans l'émetteur, la désignation codée doit être complétée par une abréviation appropriée. Par exemple, un système à modulation en amplitude à double bande latérale et démodulation d'enveloppe qui comporte un compresseur dans l'émetteur et un extenseur dans le récepteur sera désigné : MA-DBL-ENV-COM-EXT. Un exemple est donné dans l'Annexe I.

Note. - On appelle "traitement de la modulation" tout procédé consistant à modifier certaines caractéristiques des signaux de modulation, telles que la dynamique, la bande basse fréquence, etc.

On trouve des descriptions de systèmes à modulation en amplitude à double bande latérale et démodulation synchrone en [Netzband, 1969] et [C.C.I.R., 1966-1969]. Seuls ces systèmes sont capables d'assurer la transition entre les systèmes à modulation en amplitude à double bande latérale et démodulation d'enveloppe et les systèmes à bande latérale unique et démodulation synchrone; en effet, les récepteurs à démodulation synchrone donneraient des signaux basse fréquence sans distorsion aussi bien avec les systèmes à modulation en amplitude à double bande latérale et démodulation d'enveloppe qu'avec les systèmes à bande latérale unique et démodulation synchrone ("compatibilité des récepteurs").

3. Caractéristiques à spécifier

Pour les systèmes mentionnés au § 2, on trouvera ci-après les caractéristiques à spécifier. Cette liste n'est pas forcément complète.

3.1 Pour tous les systèmes :

- écartement des canaux,
- fréquences porteuses,
- fréquence(s) intermédiaire(s)
- stabilité en fréquence des oscillateurs des récepteurs.

Note 1. - Les relations entre ces caractéristiques sont indiquées dans l'Annexe II.

- largeur de bande de la modulation,
- largeur de bande nécessaire à l'émission,
- réponse globale du récepteur.

Note 2. - Pour les relations entre ces caractéristiques et l'écartement des canaux, voir le Rapport 457-1. Des écarts par rapport aux valeurs normalisées peuvent être tolérés dans la mesure où ils n'entraînent pas un brouillage inacceptable.

- caractéristiques des dispositifs de traitement de la modulation.

De plus, il convient de normaliser les caractéristiques suivantes :

3.2 Systèmes à modulation en amplitude à double bande latérale

- taux de modulation maximal.

Lorsqu'on définit les caractéristiques de l'émission et celles du récepteur de référence*, il faut tenir compte des règles suivantes :

3.2.1 Les caractéristiques à l'émission et à la réception doivent être bien adaptées les unes aux autres en particulier, la courbe de réponse amplitude/fréquence. La distorsion harmonique doit être suffisamment réduite. A cet égard, on trouvera dans [Makiedonski, 1974] d'une part, une présentation et un examen des critères applicables en vue de déterminer les tolérances des caractéristiques globales d'amplitude et de phase et, d'autre part un exposé des moyens permettant d'estimer les valeurs réelles.

3.2.2 La largeur de bande audiofréquence à l'émission doit être adaptée à l'écartement des porteuses** (la largeur de bande exacte ne peut pas être précisée. Certaines administrations estiment que le rapport de cette

* Dans le but d'adapter au mieux un plan de fréquences à des récepteurs de qualité convenable.

** Voir le Rapport 457-1.

largeur de bande à l'écartement des porteuses devrait être d'environ 0,5 et certaines d'entre elles estiment que cette valeur peut atteindre 1. Mais ce rapport dépend de la valeur de l'écartement).

3.2.3 La valeur des fréquences porteuses devraient être un multiple de leur écartement. Cet écartement devrait être le même au moins en ondes kilométriques et hectométriques. (Il serait aussi avantageux du point de vue technique d'adopter mondialement un écartement régulier des porteuses, y compris en ondes décamétriques.)

3.2.4 La ou les valeurs des fréquences intermédiaires du récepteur devraient être un multiple entier de l'écartement des porteuses.

3.3 Systèmes à bande latérale unique et démodulation synchrone

- réduction de la porteuse*,
- affaiblissement de la bande latérale inutile,
- valeurs maximales des produits d'intermodulation,
- signaux auxiliaires pour la synchronisation des récepteurs.

Note 3. - On trouvera dans l'Annexe III (voir également le Doc. 10/14 (République Fédérale d'Allemagne), 1970-1974), une série de valeurs appropriées de la réduction de la porteuse, ainsi que le niveau admissible des produits d'intermodulation.

Note 4. - Dans les systèmes à bande latérale unique, à porteuse supprimée, la précision de la porteuse reconstituée localement est importante pour la qualité de réception. Des essais subjectifs poussés (essais d'écoute) indiquent [Thiessen, 1973] une superposition des effets de la distorsion non linéaire et de l'imprécision de la porteuse reconstituée que l'on peut exprimer par :

$$\Delta Q = \left(\frac{k_2}{10 \%} \right)^2 + \left(\frac{k_3}{6 \%} \right)^2 + \left(\frac{f}{12 \text{ Hz}} \right)^2$$

où ΔQ = dégradation de la qualité selon une échelle à 6 notes,

k_2, k_3 = facteurs de distorsion du deuxième et du troisième harmonique,

Δf = erreur de fréquence, (Hz), de la porteuse reconstituée.

On a constaté qu'une valeur maximale $\Delta Q_{\max} = 0,25$ était tout juste tolérable. On pourrait accepter les valeurs $k_2 = 2,9 \%$, $k_3 = 1,7 \%$ et $\Delta f = 3,5 \text{ Hz}$, à condition d'admettre que les effets perturbateurs sont uniformément répartis.

* Voir l'Avis 326-2, § 1.5.

Les spécifications du § 3.2 sont valables et, dans la mesure du possible, les mêmes caractéristiques devraient être adoptées. Il convient en outre de tenir compte des principes suivants :

- 3.3.1 La même bande latérale (supérieure ou inférieure) doit être supprimée dans chacune des bandes de radiodiffusion. D'après les recherches actuelles sur la technologie des filtres à fréquence intermédiaire et à audiofréquence, la suppression de la bande latérale inférieure apparaît préférable. Il est donc proposé que, pour la radiodiffusion dans les bandes 5 et 6, la bande latérale supérieure contienne le signal audiofréquence complet.
- 3.3.2 La réduction de la porteuse ne doit pas dépasser 12 dB.
- 3.3.3 On devra décider si une des bandes latérales doit être complètement supprimée ou s'il subsistera une bande résiduelle définie par une courbe de réponse amplitude/fréquence spécifiée.
- 3.3.4 La largeur de bande audiofréquence à l'émission doit être adaptée à l'écartement des porteuses. (La largeur de bande ne peut pas être précisée; le rapport entre celle-ci et l'écartement des porteuses peut s'approcher de l'unité.)

3.4 Modulation de fréquence

- indice de modulation,
- fréquence de modulation maximale.

3.5 Système compatible à bande latérale unique

- taux de modulation maximal,
- affaiblissement de la bande latérale non désirée,
- valeur maximale des produits d'intermodulation.

4. Période de transition

Pour passer sans difficultés de la radiodiffusion à double bande latérale à la radiodiffusion à bande latérale unique, il faut que tout système à bande latérale unique conforme aux spécifications du § 3.3 permette la réception satisfaisante d'un signal à double bande latérale conforme aux spécifications du § 3.2.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

C.C.I.R. /1966-1969/ Doc.X/135, Etats-Unis d'Amérique.

U.E.R. /août, 1971/ Doc. Tech. 3088. Modulation processing techniques in AM sound broadcasting.

HAVILAND, R.P. /juin 1969/, Comparaison de systèmes de transmission utilisant diverses techniques de modulation et démodulation. Revue de l'U.E.R., 115-A, 102-108.

MAKIEDONSKI, A. /1974/, Analiza zniekształceń obwiedni sygnału zmodulowanego przy jednoczesnym występowaniu zniekształceń tłumieniowych i fazowych jego grupy falowej (Analyse des distorsions de l'enveloppe d'un signal modulé en présence de distorsions simultanées d'amplitude et de phase de ses composantes spectrales). Prace Instytutu Łączności, Vol. XXX, 3(75).

NETZBAND, R. /avril 1969/, Nouveau dispositif de réception à une ou à deux bandes latérales en radiodiffusion à modulation d'amplitude. Revue de l'U.E.R., 114-A, 60-63.

THIESSEN, P. /août 1973/ Dégradation de la qualité d'une transmission à bande latérale unique par décalage de fréquence et distorsions non-linéaires. Revue de l'U.E.R., Technique 140.

ANNEXE I

UTILISATION DE DIVERS PROCEDES DE TRAITEMENT DE LA MODULATION

L'O.I.R.T. a étudié la possibilité d'augmenter le taux de modulation, c'est-à-dire la puissance dans la bande latérale, en pratiquant la modulation trapézoïdale ou la compression dynamique dans des émetteurs à ondes hectométriques et décamétriques / C.C.I.R., 1970-1974a / . Le résultat est que la compression sans écrêtage est préférable si le but poursuivi est d'augmenter la puissance dans la bande latérale avec une perte minimale de qualité (pour les programmes musicaux par exemple). Cependant, si l'on estime que la perte de qualité n'est pas très importante (pour les programmes parlés par exemple), la modulation trapézoïdale donne une plus grande puissance dans la bande latérale.

Des expériences faites par le RFZ à Berlin ont confirmé les valeurs suivantes de l'accroissement de puissance dans les bandes latérales :

- Compression de 12 dB :

gain moyen pour un temps d'établissement de 0,5 ms et un temps de retour de 35 ms : ≈ 6 dB.

- Compression de 6 dB :

gain moyen pour une longue période d'amortissement (1,5 s)
pour des programmes à forte dynamique : ≈ 3 dB.

- Modulation trapézoïdale :

gain moyen avec augmentation de 5 dB du niveau du signal audiofréquence et écrêtage : ≈ 3 dB.

On a fait en Suède des études sur les possibilités d'amélioration du rapport signal/brouilleur aux fréquences radioélectriques par la compression-extension en audiofréquence sur un système à modulation d'amplitude et double bande latérale, et sur un système à modulation de fréquence ayant une déviation de fréquence maximale de ± 5 kHz [C.C.I.R., 1966-1969].

La gamme audiofréquence était : 40-5 000 Hz.

Le compresseur réduisait de moitié (en dB) la dynamique du signal audiofréquence. Les constantes de temps étaient de 2 ms pour le temps d'établissement, et de 20 ms pour le temps de retour. Les caractéristiques de l'extenseur étaient symétriques de celles du compresseur.

Les résultats expérimentaux peuvent être résumés ainsi :

En l'absence de brouillage, aucun changement de qualité n'a été observé lorsque le compresseur et l'extenseur étaient tous deux utilisés. La qualité à l'écoute a également été jugée satisfaisante lorsque seul le compresseur était utilisé.

En cas de brouillage dans le même canal, on a trouvé les rapports de protection aux fréquences radioélectriques suivants (dB) :

	Modulation en amplitude	Modulation de fréquence
- sans compresseur ni extenseur	40-50	40-45
- avec compresseur seulement	30-40	30-40
- avec compresseur et extenseur	20-25	25-30

A noter que ces valeurs ont été obtenues avec un émetteur brouilleur non équipé d'un compresseur de modulation.

Dans une étude plus développée, relative à la modulation d'amplitude à double bande seulement, on a examiné l'effet de la compression-extension sur le rapport de protection aux fréquences radioélectriques avec un émetteur brouilleur équipé d'un compresseur [C.C.I.R., 1970-1974b 7]. L'étude a été faite avec différents types de programmes transmis par l'émetteur brouilleur.

Lorsqu'un programme parlé est brouillé par un autre programme parlé, la réduction du rapport de protection aux fréquences radioélectriques est d'environ 15 dB en utilisant la compression-extension. Aucune détérioration de la qualité de reproduction n'a été constatée. Avec seulement la compression, il y a une plus petite réduction du rapport de protection aux fréquences radioélectriques, environ 10 dB. Dans ce cas, la qualité de reproduction est moins bonne, mais reste acceptable, et manifestement plus mauvaise qu'avec la transmission sans compression.

Pour un programme musical brouillé par une autre musique ou de la parole, le résultat dépend dans une large mesure du genre de programme utile. L'avantage obtenu avec une compression seulement est toujours plus faible que lorsque le programme utile est un programme parlé, et même quelquefois négligeable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

C.C.I.R. [1966-1969] Doc. X/153, Suède.

C.C.I.R. [1970-1974a] Doc. X/66, O.I.R.T.

C.C.I.R. [1970-1974b] Doc. X/43, Suède.

ANNEXE II

ECART ENTRE CANAUX, RAPPORT DE PROTECTION ET FREQUENCE INTERMEDIAIRE

Le choix des fréquences porteuses, de l'écart entre canaux et des fréquences intermédiaires des récepteurs, doit être fait de façon à réduire le plus possible les brouillages dus :

- aux oscillateurs locaux du récepteur utilisé ou des récepteurs situés dans le voisinage, que ce soit par leur fréquence fondamentale ou par leurs harmoniques;
- aux harmoniques d'une fréquence d'émission, ou des produits de combinaison entre plusieurs fréquences d'émission [C.C.I.R., 1963-1966; SCART, 1966; C.C.I.R., 1970-1974].

Si les fréquences porteuses d'une part, et là où les fréquences intermédiaires d'autre part, sont des multiples entiers de l'écartement entre canaux, toute fréquence brouilleuse sera également un multiple de cet écartement. Par suite, théoriquement, une protection maximale sera obtenue, car la différence de fréquences entre tout signal brouilleur et la fréquence porteuse utile sera ou nulle ou égale à un multiple entier de l'écart entre canaux.

Pour que ces conditions soient remplies dans une bande de radiodiffusion donnée, il est essentiel que l'écart entre canaux soit le même dans toute cette bande. Il serait encore plus avantageux si ces conditions pouvaient être remplies aussi bien en ondes kilométriques qu'en ondes hectométriques ou encore de préférence en ondes kilométriques, en ondes hectométriques et en ondes décamétriques [Eden, 1967]. D'autre part, ces conditions devraient être satisfaites dans le monde entier, ou tout au moins dans les zones où un plan de fréquence unique existe ou sera établi.

Cependant il faut noter que la perturbation due à un signal brouilleur augmente très rapidement lorsque la différence de sa fréquence avec la fréquence utile augmente à partir de zéro.

Dans les conditions actuelles, les différences entre les fréquences peuvent avoir n'importe quelle valeur et cela peut conduire à une augmentation du rapport de protection pouvant atteindre 17,5 dB. En adoptant le système proposé, les différences de fréquences dépendent de la précision de l'oscillateur local et du réglage des filtres passe-bande à fréquence intermédiaire. Pour obtenir la meilleure amélioration possible il peut être nécessaire d'avoir des précisions de fréquence de l'ordre de 100 Hz. La précision de la fréquence intermédiaire peut être obtenue par l'emploi de filtres mécaniques ou céramiques, de préférence aux

filtres classiques. Le réglage de l'accord initial et la dérive de l'oscillateur local pourraient conduire à des dispositifs spéciaux tels que la commande automatique de fréquence. L'adoption de ce système donnerait peu d'amélioration dans un avenir proche avec les récepteurs existants, mais permettrait une amélioration substantielle dans l'avenir sans aucun inconvénient dans les conditions présentes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

C.C.I.R. [1963-1966], Doc. X/161, France.

C.C.I.R. [1970-1974], Doc. 10/273, France.

EDEN, H. [décembre 1967], Réflexions sur une réorganisation de la radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques. Revue de l'U.E.R., 106-A, 242-251

SCART [mai 1966], Contribution à l'étude de la fréquence intermédiaire pour les récepteurs de radiodiffusion destinés à recevoir les émissions en ondes kilométriques et hectométriques. Fascicule de documentation SCART, VII, édité par la SDSA, 16, rue de Presles, 75-Paris-15^e

ANNEXE III

REDUCTION DE LA PORTEUSE ET NIVEAU ADMISSIBLE D'INTERMODULATION
POUR LES EMETTEURS DE RADIODIFFUSION A BANDE LATERALE UNIQUE

En cas d'introduction de la technique à bande latérale unique pour la radiodiffusion en modulation d'amplitude, il semble souhaitable d'utiliser les définitions qui figurent dans l'Avis 326-2.

D'après cet Avis, la valeur de la composante de l'onde porteuse est indiquée par rapport à la puissance en crête de modulation P_{cr} de l'émission.

La puissance crête P_{cr} d'un émetteur est déterminée par le niveau d'intermodulation acceptable D_n .

Pour les émetteurs de radiodiffusion à bande latérale unique, on n'a pas encore fixé le niveau acceptable d'intermodulation D_n qui est déterminant pour des distorsions non-linéaires (qualité) et pour le rayonnement hors bande (brouillage dans le canal adjacent).

Les distorsions non-linéaires et le brouillage dans le canal adjacent devant être peu importants, le niveau d'intermodulation acceptable D_n ne sera probablement pas inférieur à 38 dB.

La puissance de la bande latérale P_L dépend de sa puissance crête P_{cr} et de l'affaiblissement de la porteuse a .

Dans le cas d'un émetteur BLU de radiodiffusion, la valeur appropriée de a sera déterminée essentiellement par la nécessité de reconstituer la porteuse dans le récepteur de radiodiffusion BLU de prix modique. Pour reconstituer la porteuse de référence pour le démodulateur synchrone BLU, avec des dépenses faibles des réductions de porteuse devront être limitées à 6 ou 12 dB.

La Fig. 1 montre la relation entre la puissance P_L et la réduction a pour une valeur donnée de P_{cr} . Dans cette figure (1) désigne le cas de la modulation par un signal sinusoïdal et (2) le cas de la modulation par programme ou par bruit. Les valeurs de $\underline{U}$ et de $\underline{P}$ sont exprimées en pourcentages de leurs valeurs de crête. En cas de modulation par programme et avec une réduction de porteuse d'au moins 30 dB, la puissance P_L (2) sera d'environ 10 % de P_{cr} . Un

émetteur fonctionnant avec une réduction de porteuse de 6 dB ne peut, lorsqu'il est modulé par un signal de radiodiffusion, rayonner qu'une puissance de bande latérale $P_L(2)$ d'environ 2,5 % de sa puissance nominale crête.

Pour le calcul de $P_L(2)$, on a admis que le rapport de la puissance moyenne à la puissance de crête est de 0,1 (voir l'Avis 326-2 Tableau I, classe d'émission A3J).

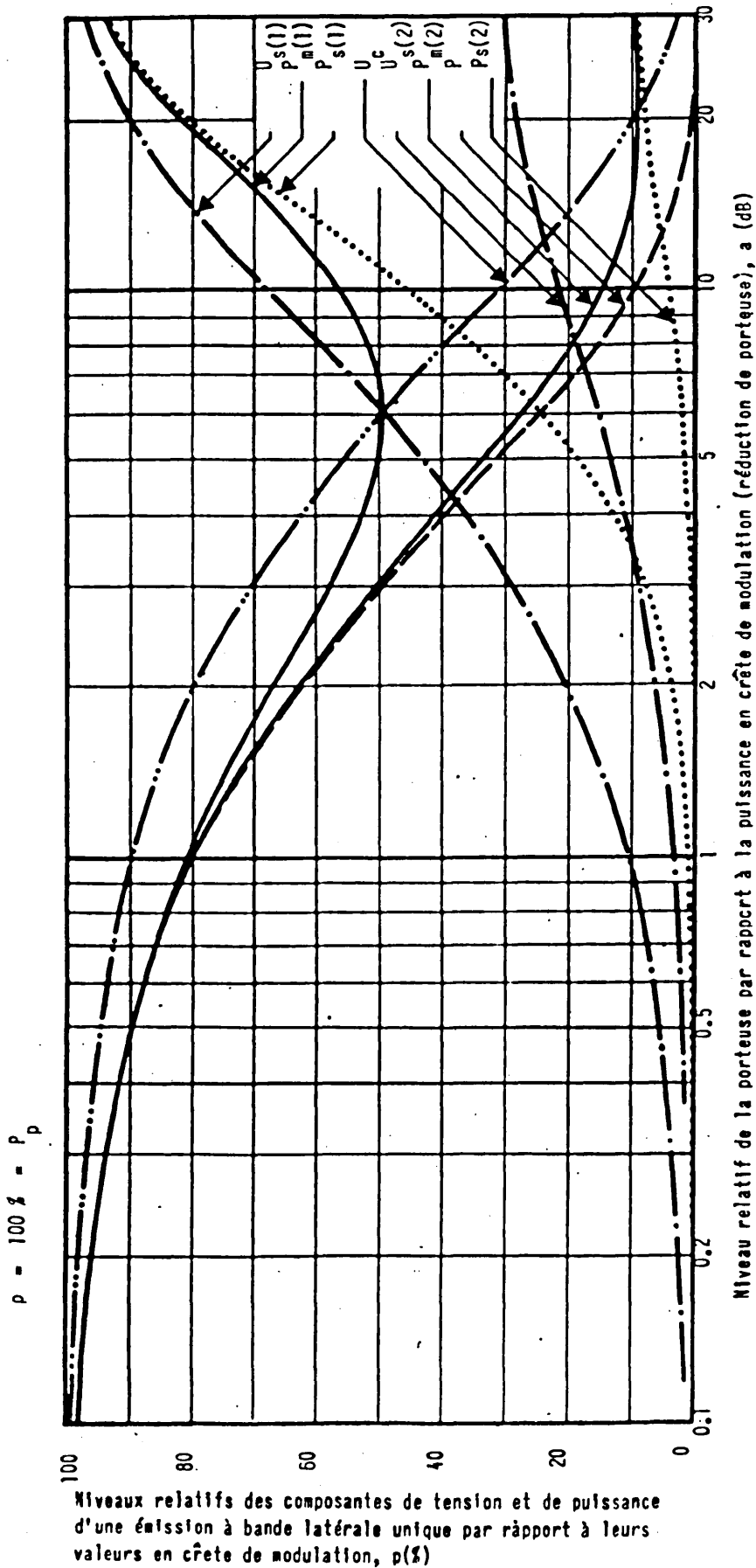


FIGURE 1.

P_{cr} : puissance crête de l'émetteur (définie par le niveau d'intermodulation acceptable D_n).

U_p : tension de la porteuse (valeur efficace).

$U_L(1)$: tension de la bande latérale dans le cas de modulation sinusoïdale (valeur efficace).

$U_L(2)$: tension de la bande latérale dans le cas de modulation par programme ou par bruit (valeur efficace).

P_c : puissance de la porteuse.

$P_L(1)$: puissance de bande latérale dans le cas de modulation à l'aide d'un signal sinusoïdal.

$P_L(2)$: puissance de bande latérale dans le cas de modulation par programme ou par bruit.

$P_m(1)$: puissance moyenne de l'émetteur dans le cas la modulation par un signal sinusoïdal.

$P_m(2)$: puissance moyenne de l'émetteur dans le cas d'une modulation de programme ou par du bruit.

RAPPORT 459-1^{*}

RAPPORTS DE PROTECTION AUX FREQUENCES RADIOELECTRIQUES

POUR EMETTEURS DE RADIODIFFUSION SYNCHRONISES

(Programme d'études 25A-1/10)

(1970-1974)

Il est bien connu que les rapports de protection aux fréquences radioélectriques pour les émetteurs fonctionnant dans le même canal peuvent être sensiblement améliorés par des méthodes de synchronisation dont la mise en oeuvre permet d'étendre leurs zones de service (voir également le Rapport 616). Les valeurs de ces rapports de protection dépendent de divers facteurs parmi lesquels la méthode de synchronisation. Il est souhaitable, pour la planification, de disposer de rapports de protection admis à l'échelon international. La Conférence africaine de radiodiffusion à ondes kilométriques et hectométriques [U.I.T., 1966] a adopté une valeur de 8 dB pour la Zone africaine de radiodiffusion.

Les paragraphes suivants fournissent sur les rapports de protection et les questions connexes des renseignements intéressant d'autres régions.

1. Etudes effectuées en U.R.S.S. [C.C.I.R., 1966-1969]

Ces études ont eu pour objet de déterminer le rapport de protection aux radiofréquences, pour la réception des émissions de réseaux synchronisés comportant deux ou trois émetteurs. Deux méthodes de synchronisation, en fréquence et en phase, ont été considérées.

1.1 Expression du rapport de protection aux fréquences radioélectriques

Pour exprimer, dans ce cas, le rapport de protection en radiofréquence, on considère comme signal utile le signal de l'émetteur fournissant le champ le plus important, et comme signal brouilleur, les signaux des autres émetteurs du réseau.

* Adopté à l'unanimité.

1.2 Détermination du rapport de protection

Pour déterminer le rapport de protection, on a utilisé une méthode statistique basée sur les impressions subjectives de la qualité de réception d'un émetteur d'un réseau synchronisé, par comparaison avec la réception d'un émetteur ne faisant pas partie d'un réseau synchronisé. On a utilisé pour cela 26 experts parmi le personnel technique et scientifique de radiodiffusion.

Le rapport de protection, en l'absence d'évanouissement, était déterminé en laboratoire, et ensuite vérifié en exploitation réelle.

Dans le cas d'évanouissement, les essais avaient lieu uniquement sur des réseaux synchronisés en exploitation.

Pour tous ces essais, le taux de modulation maximal était de 90 %.

1.3 Résultats

La Fig. 1 indique les valeurs du rapport de protection en fonction du déphasage entre les fréquences porteuses de deux stations, dans la journée, en l'absence d'évanouissements. Pour ces courbes, le paramètre est le pourcentage d'experts ayant reconnu que la qualité du signal résultant était à tout le moins satisfaisante. On peut voir, d'après cette figure, que pour que 90 % des auditeurs se déclarent satisfaits, la valeur du rapport de protection sur un réseau à deux émetteurs synchronisés doit être de 4 dB (en l'absence d'évanouissements).

La Fig. 2 indique les valeurs du rapport de protection en fonction du décalage de fréquence de deux émetteurs pour les pourcentages d'experts ayant déclaré que la qualité de réception était satisfaisante. Cette figure montre que, si les signaux des deux émetteurs synchronisés ne subissent pas d'évanouissements et si l'on veut que 90 % des auditeurs se déclarent satisfaits de la réception, la valeur du rapport de protection doit être de 4 dB, ce qui implique que la précision de la synchronisation soit de 0,015 à 0,02 Hz. Pour un décalage de 0,1 Hz, le rapport de protection doit atteindre 6 dB.

La Fig. 3 donne des courbes analogues pour trois émetteurs synchronisés en phase. Pour satisfaire 90 % des auditeurs, le rapport de protection ne doit pas être inférieur à 3,1 dB (la norme est de 4 dB).

On a pu conclure que pour une qualité de réception acceptable en présence d'évanouissements, il fallait augmenter le rapport de protection jusqu'à 7 ou 8 dB pour deux émetteurs et jusqu'à 6 dB pour trois émetteurs.

2. Etude de l'U.E.R. / U.E.R., 1957 /

Des méthodes de synchronisation ont été mises au point jusqu'en 1964 (et sont dans la plupart des cas encore utilisées) dans plusieurs pays, notamment en Autriche, en France, en République Fédérale d'Allemagne, en Italie, aux Pays-Bas, en Norvège, en Suède, au Royaume-Uni, en Australie et aux Etats-Unis d'Amérique. Elles sont indiquées dans le texte en référence / U.E.R., 1957 / qui contient une bibliographie importante ainsi qu'un aperçu des bases théoriques de ces méthodes.

3. Etudes de l'O.I.R.T. / C.C.I.R., 1970-1974; Augustin et Schulze, 1973 /

On a constaté à l'O.I.R.T. qu'il est possible en pratique de simuler sur un modèle les effets essentiels des émetteurs de même canal synchronisés ou non synchronisés (même programme). Le "Rundfunk- und Fernsehtechnisches Zentralamt" de la "Deutsche Post" (Berlin) / C.C.I.R., 1970-1974 / a mis au point un modèle de ce genre, dont le schéma de principe est donné à la Fig. 4, qui est intéressant tant du point de vue économique que du point de vue de l'exploitation, pour l'étude des problèmes de réception dans la zone où les ondes directes des émetteurs synchronisés interfèrent - compte non tenu, par conséquent, des évanouissements ionosphériques.

Avec ce modèle, on peut étudier en laboratoire les systèmes à canal commun, synchronisés ou non. On a constaté notamment que les mesures suivantes étaient judicieuses / Augustin et Schulze, 1973 /. Si les fréquences porteuses ne diffèrent que de 0,1 Hz environ et que l'on a égalisé les temps de propagation des signaux son entre le studio et les émetteurs, on peut obtenir les avantages suivants :

- réduction quasi totale de la zone de brouillage,
- diminution des effets de l'évanouissement sélectif et persistance seulement des évanouissements d'amplitude qui sont entièrement compensés par la commande automatique de gain du récepteur, sans distorsion inacceptable.

On peut dire, pour conclure, qu'il est possible d'obtenir un rapport de protection de 0 dB pour la réception durant le jour.

Ces résultats théoriques ont été confirmés par des essais en exploitation réelle effectués à l'aide de deux émetteurs hectométriques de 20 kW situés à une distance de 80 km environ.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUGUSTIN, E. et SCHULZE R. [1973] Probleme des Gleichwellenrundfunks :
Ein optimales Gleichwellensystem (Problème de synchronisation en radio-
diffusion : un procédé de synchronisation optimal.) Tech. Mitt. des
RFZ, 4, 95-97.
- C.C.I.R. [1966-1969] Doc. X/213, U.R.S.S.
- C.C.I.R. [1970-1974] Doc. 10/65, O.I.R.T.
- U.E.R. [avril 1957] Utilisation des réseaux synchronisés en radiodiffusion.
Cahiers Techniques N° 3070 (révisé en 1974).
- U.I.T. [1966] Actes finals de la Conférence africaine de radiodiffusion
à ondes kilométriques et hectométriques, Genève.

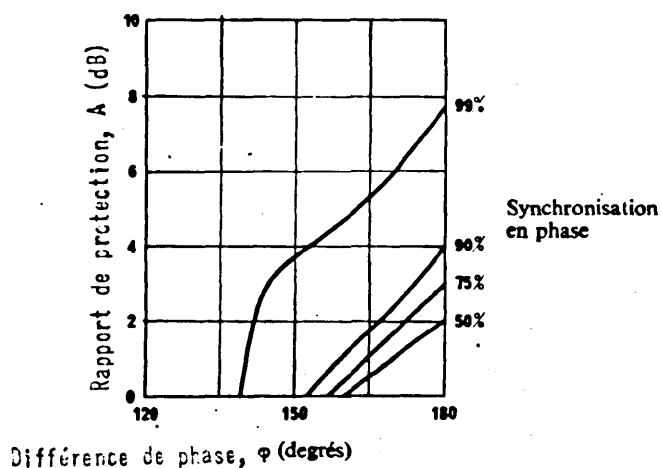


FIGURE 1

Qualité de réception des émissions parlées et musicales en fonction de la différence de phase des porteuses de deux stations (sans évanouissements)

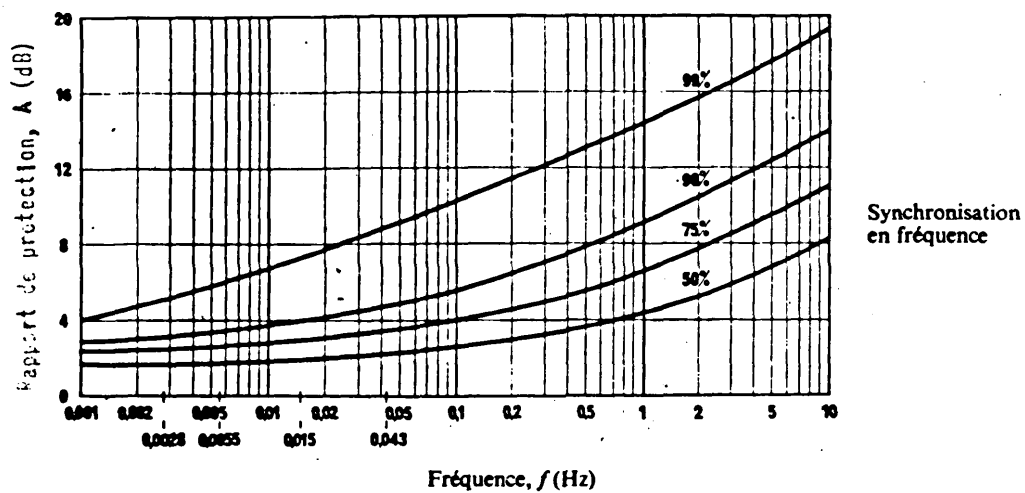


FIGURE 2

Qualité de réception des émissions parlées et musicales en fonction de la stabilité des porteuses de deux émetteurs (sans évanouissements)

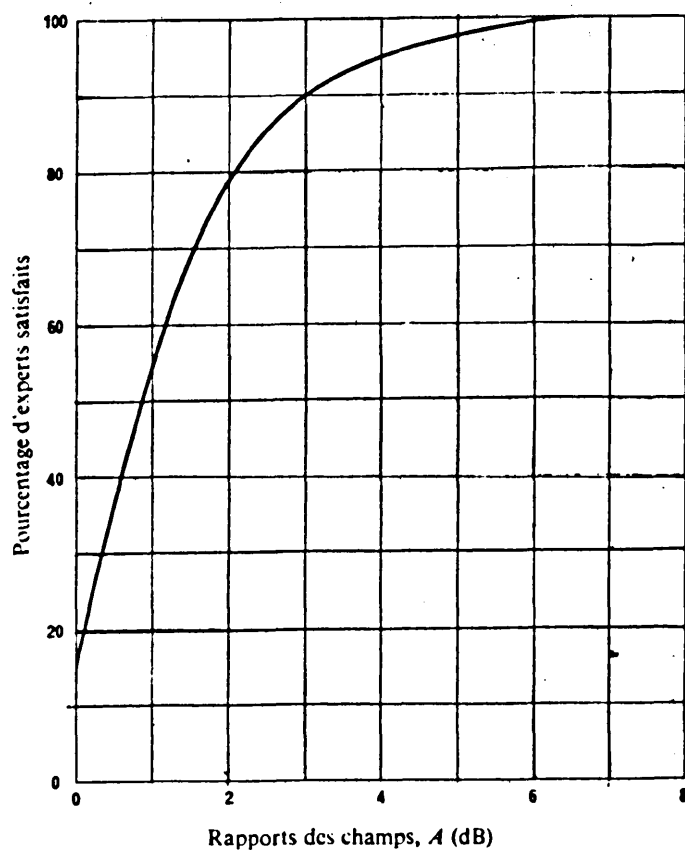


FIGURE 3

Qualité de réception des émissions parlées et musicales en fonction
des rapports des champs pour trois émetteurs synchronisés en phase

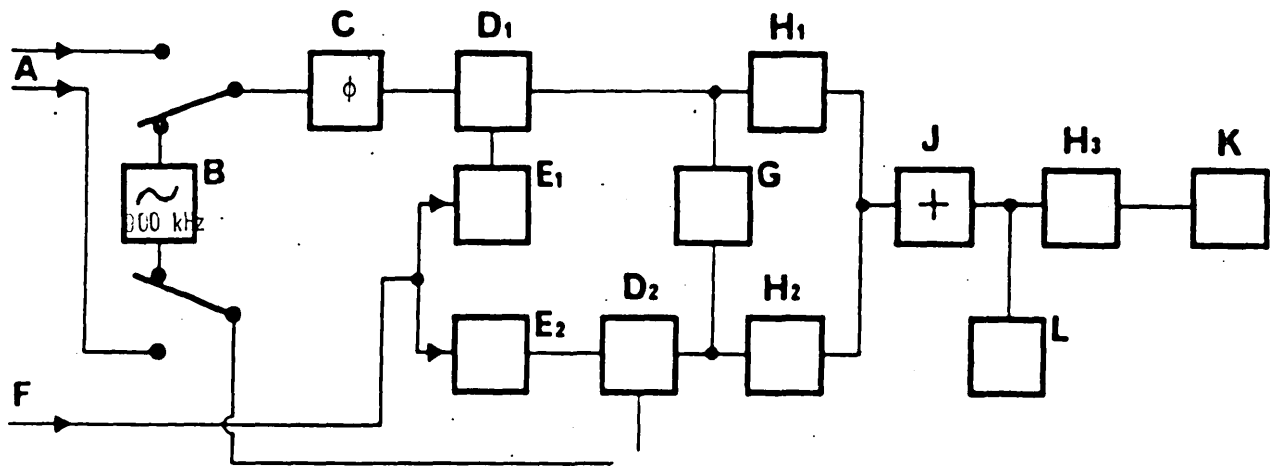


FIGURE 4

Schéma de principe du modèle à canal commun

A : Oscillateur extérieur

B : Etalon de fréquence (900 kHz)

C : Déphaseur

D₁, D₂ : Emetteurs

E₁, E₂ : Ligne à retard audiofréquence

F : Modulation

G : Oscilloscope

H₁, H₂, H₃ : Réglage de niveau

J : Réseau d'addition

K : Récepteur

L : Indicateur de niveau

RAPPORT 460-1*

TRANSMODULATION IONOSPHERIQUE

(Programme d'études 25E-1/10)

(1970-1974)

Les effets de la transmodulation ionosphérique dans les bandes kilométriques et hectométriques peuvent devenir de plus en plus graves à cause de l'augmentation continuelle des puissances d'émission.

1. Des expériences détaillées ont été effectuées sur ce sujet dans le cadre de l'U.E.R. dans plusieurs pays, notamment au Royaume-Uni et en République Fédérale d'Allemagne [Haberkant et Vogt, 1966; Haberkant et autres, 1971]. Ces expériences ont été faites avec des émissions classiques à modulation d'amplitude à double bande latérale. Il n'est pas encore possible de donner des valeurs précises et définitives sur la transmodulation constatée, mais on peut déjà en déduire les résultats suivants :

- 1.1 Le taux de transmodulation augmente d'une façon sensiblement linéaire avec la puissance de l'émetteur brouilleur, ainsi qu'avec son taux de modulation.

Note.- Le taux de transmodulation est le taux avec lequel la porteuse de l'émetteur utile est modulée par les signaux modulants de l'émetteur brouilleur.

- 1.2 Cette transmodulation dépend surtout de la puissance rayonnée par le brouilleur dans la direction du point de réflexion de l'onde utile sur l'ionosphère.

Les taux de transmodulation inférieure à 10 % sont directement proportionnels à la puissance [Knight, 1973]. Ainsi, une augmentation de 3 dB de la puissance de l'émetteur brouilleur entraîne une élévation de 6 dB du taux de transmodulation. D'autre part, le taux de transmodulation est directement proportionnel au taux de modulation de l'émetteur brouilleur [Knight, 1973].

- 1.3 Le taux de transmodulation est d'autant plus petit que la fréquence de modulation de l'émetteur brouilleur est plus élevée. Des expériences de laboratoire [Whyte et Reed, 1973] ont montré qu'il est possible d'établir une relation entre l'effet subjectif de la transmodulation et le brouillage dans un même canal. Pour provoquer un niveau donné de dégradation subjective,

* Adopté à l'unanimité

le brouillage résultant de la transmodulation ionosphérique exige que le rapport signal/brouillage soit inférieur de 6 dB à la valeur correspondant au brouillage dans un même canal, à condition que la transmodulation soit rapportée à une fréquence de modulation de 300 Hz.

1.4 A noter que les études de la transmodulation ionosphérique effectuées par la Commission d'études 6 sont résumées dans le Rapport 574.

2. La Fig. 1 donne les taux de transmodulation mesurés dans un grand nombre d'expériences [Knight, 1973]. Chaque résultat de mesure a été normalisé par rapport à la valeur que l'on aurait observée si l'émission brouilleuse avait été rayonnée par une antenne verticale courte, la puissance porteuse étant de 100 kW modulée à 300 Hz au taux de 80 %.

Sur la Fig. 1, une courbe semi-empirique donne la valeur du taux de transmodulation maximal susceptible d'être observé (moyenne sur un court intervalle de temps); cela se produit si le signal utile traverse la région de l'ionosphère qui est "éclairée" avec la plus grande intensité par le rayonnement brouilleur. La Fig. 1 montre que la transmodulation croît jusqu'à un deuxième maximum lorsque la fréquence brouilleuse est voisine de la fréquence gyromagnétique. La Fig. 5 est une carte indiquant les valeurs de la fréquence gyromagnétique dans les diverses parties du monde [Laitinen et Hayden, 1950].

3. Cet effet de transmodulation est à considérer non seulement pour la réception par ondes ionosphériques, mais aussi pour la réception par ondes de sol, à la limite de la zone desservie, lorsque de nuit, l'onde ionosphérique n'est plus complètement négligeable. L'effet de transmodulation est toutefois réduit, approximativement dans le rapport des amplitudes des ondes utiles, de sol ou ionosphériques, au point de réception.

4. Conclusions préliminaires

Sur la base des mesures indiquées dans les références [Haberkant et Vogt, 1966; Haberkant et autres, 1971], on peut donner des exemples de la puissance surfacique, ou de la puissance d'émission en fonction de l'angle de site susceptible de causer des perturbations aux émissions utiles.

Pour cela, on a d'abord fixé une valeur tolérable du taux de transmodulation. D'après l'Annexe de l'Avis 448-1, le Rapport 264-3, § 3 (Variation statistique du champ ou affaiblissement de la propagation) et le Rapport 298-3, § 2.2.2.1 (Evanouissements à court terme), un rapport de protection en radiofréquence d'environ 30 dB pour 10 % du temps dans le cas d'un signal brouilleur fluctuant est acceptable. Compte non tenu de l'effet indiqué au § 1.3, on aurait le même effet perturbateur avec un taux de transmodulation de 3 % pendant 10 % du temps. D'après [Haberkant et autres, 1971], ce taux de transmodulation est dû, dans la partie supérieure de la bande hectométrique de radiodiffusion, à une puissance surfacique maximale

dans la région E d'environ $2 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ($-57 \text{ dB (W}/\text{m}^2)$), soit un champ maximal de $27 \text{ mV}/\text{m}$ ($89 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$).

En supposant une hauteur de 100 km pour la couche E, on peut calculer le rayonnement de divers types d'antenne produisant une telle puissance surfacique dans la région E. Les antennes d'émission verticales couramment utilisées ont un diagramme de rayonnement vertical qui est une fonction bien définie de leur hauteur (exprimée en longueur d'onde λ). En particulier, pour de telles antennes, le rayonnement est nul pour le site de 90° . Le Tableau I, tiré de / Haberkant et autres, 1971/ indique, pour diverses hauteurs d'antennes verticales, les puissances d'alimentation correspondant aux conditions précédentes.

TABLEAU I

Hauteur de l'antenne verticale	$< 0,25\lambda$	$0,25\lambda$	$0,5\lambda$	$0,55\lambda$	$0,64\lambda$	$0,64\lambda^{(1)}$
Puissance porteuse de l'émetteur (kW)	320	340	560	670	370	840

(1) Avec compensation du premier lobe latéral

On peut également calculer le rapport entre la puissance rayonnée et l'angle de site depuis 0° (Rayonnement horizontal) jusqu'à 90° (Rayonnement vertical), nécessaire pour produire la même puissance surfacique. Les résultats sont indiqués dans le Tableau II.

TABLEAU II

Angle de site	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
p.a.r.v. * (dB/1 kW) ou f.c.m. (dB/300 V)	39,5	32	27,5	24,3	22,5	22	21,5	20,2	19,3	18,7	18,5
p.a.r.v. (kW)	9000	1600	570	230	190	160	140	105	85	75	70

Les tableaux ci-dessus ne donnent que des valeurs approximatives, car la théorie montre que la transmodulation ionosphérique peut être influencée par plusieurs facteurs tels que les fréquences utiles et brouilleuses (en particulier, leur position par rapport à la gyrofréquence) et la polarisation des ondes émises.

Les puissances indiquées dans les Tableaux I et II à titre d'exemples, sont déduites d'un petit nombre de mesures faites sur une fréquence voisine de la limite supérieure de la bande hectométrique. Ces mesures ne tiennent pas compte de la variation de la transmodulation en fonction de la fréquence porteuse perturbatrice. Elles ne tiennent pas compte non plus de la diminution de la transmodulation pour les audiofréquences élevées, diminution qui permet d'augmenter de 3 dB les puissances brouilleuses.

A noter que des services autres que la radiodiffusion ont été perturbés par la transmodulation ionosphérique.

- * p.a.r.v. : puissance apparente rayonnée sur antenne verticale courte;
f.c.m. : force cymomotrice. Voir aussi le Rapport 618.

On a comparé les résultats de nombreuses mesures de la transmodulation ionosphérique [Knight, 1973]; la Fig. 1 montre qu'une puissance de 100 kW sur antenne courte, à des fréquences de partie inférieure de la bande hectométrique de radiodiffusion produit une transmodulation qui peut dépasser 2 % pendant 50 % du temps. D'après [Haberkant et autres, 1971], cela correspond à une transmodulation de 3% pendant 10 % du temps. On peut donc comparer directement la puissance de 100 kW avec celle de 320 kW du Tableau I. La présence d'une puissance plus grande dans ce tableau s'explique par le fait que les mesures d'où elle est déduite semblent donner une transmodulation inférieure aux valeurs estimées pour le cas le plus défavorable (voir la courbe de la Fig. 1).

La Fig. 1 montre également que la transmodulation due à des brouilleurs en ondes kilométriques ou sur des fréquences voisines de la fréquence gyromagnétique peut être supérieure de 10 dB aux valeurs qui correspondent à des fréquences de la partie inférieure de la bande hectométrique. Une diminution de 5 dB de la puissance brouilleuse réduit de 10 dB la transmodulation. Compte tenu de l'effet de la fréquence de modulation, on peut conclure que, suivant la valeur de la fréquence brouilleuse en ondes kilométriques ou hectométriques, les puissances comprises entre les valeurs des Tableaux I et II et des valeurs inférieures de 7 dB peuvent, dans le pire des cas, brouiller un service par l'onde ionosphérique dans des conditions comparables au brouillage dans un même canal avec un rapport de protection de 30 dB.

On peut utiliser des puissances brouilleuses un peu plus élevées s'il s'agit de protéger de la transmodulation ionosphérique non plus un service par l'onde ionosphérique, mais un service par onde de sol; en effet, le brouilleur n'exerce une action que sur la composante ionosphérique du signal reçu. Si la limite de la zone de service par onde de sol est définie par une ligne où le champ de l'onde de sol dépasse de 10 dB le champs médian de l'onde ionosphérique, la valeur médiane de la transmodulation du signal résultant sera inférieure de 14 dB à la valeur médiane de la transmodulation de l'onde ionosphérique. Les puissances brouilleuses peuvent donc dépasser de 7 dB les puissances correspondantes, lorsqu'il s'agit de protéger l'onde ionosphérique

5. Utilisation pratique des conclusions

L'U.E.R. a étudié les conséquences, pour la planification dans les bandes 5 (ondes kilométriques) et 6 (ondes hectométriques) des conclusions préliminaires résumées dans le § 4 du présent Rapport. Le problème le plus important est celui du rayonnement maximal en fonction de l'angle de site et du type d'antenne pour que le brouillage par transmodulation ionosphérique reste inférieur à une certaine valeur. Les conclusions à tirer de ces études sont énumérées ci-après.

La gêne causée par la transmodulation ne devrait pas dépasser celle due au brouillage dans le même canal, avec un rapport de protection de 30 dB. Cependant, la transmodulation, contrairement au brouillage dans le même canal, décroît lorsque la fréquence de modulation augmente. Des essais subjectifs, pour relier ces deux effets, sont donc nécessaires. Ils ont été faits et ont montré que le taux maximal de transmodulation pouvait être de 6,3 %, quand l'émetteur brouilleur est modulé à 80 % par un signal à 300 Hz. On recommande de considérer cette valeur comme la limite maximale acceptable pour la transmodulation.

La Fig. 2 (courbe A), qui tient compte du fait que la transmodulation dépend de la fréquence porteuse brouilleuse et de l'altitude de la couche réfléchissante, indique la puissance apparente rayonnée sur antenne verticale courte (dB(1kW)), ou la force cymomotrice (dB(300 V)), dans la direction verticale, qui produirait pendant 50 % du temps la transmodulation spécifiée plus haut. Les abscisses sont le rapport de la fréquence brouilleuse, f_b , à la gyrofréquence (environ 1,25 MHz en Europe). Cette courbe est déduite d'un grand nombre de mesures en Europe et en Australie (voir § 4 et Fig. 1), en prenant les valeurs observées de transmodulation comme les plus mauvaises qui puissent se produire sur le trajet géographique le plus défavorable.

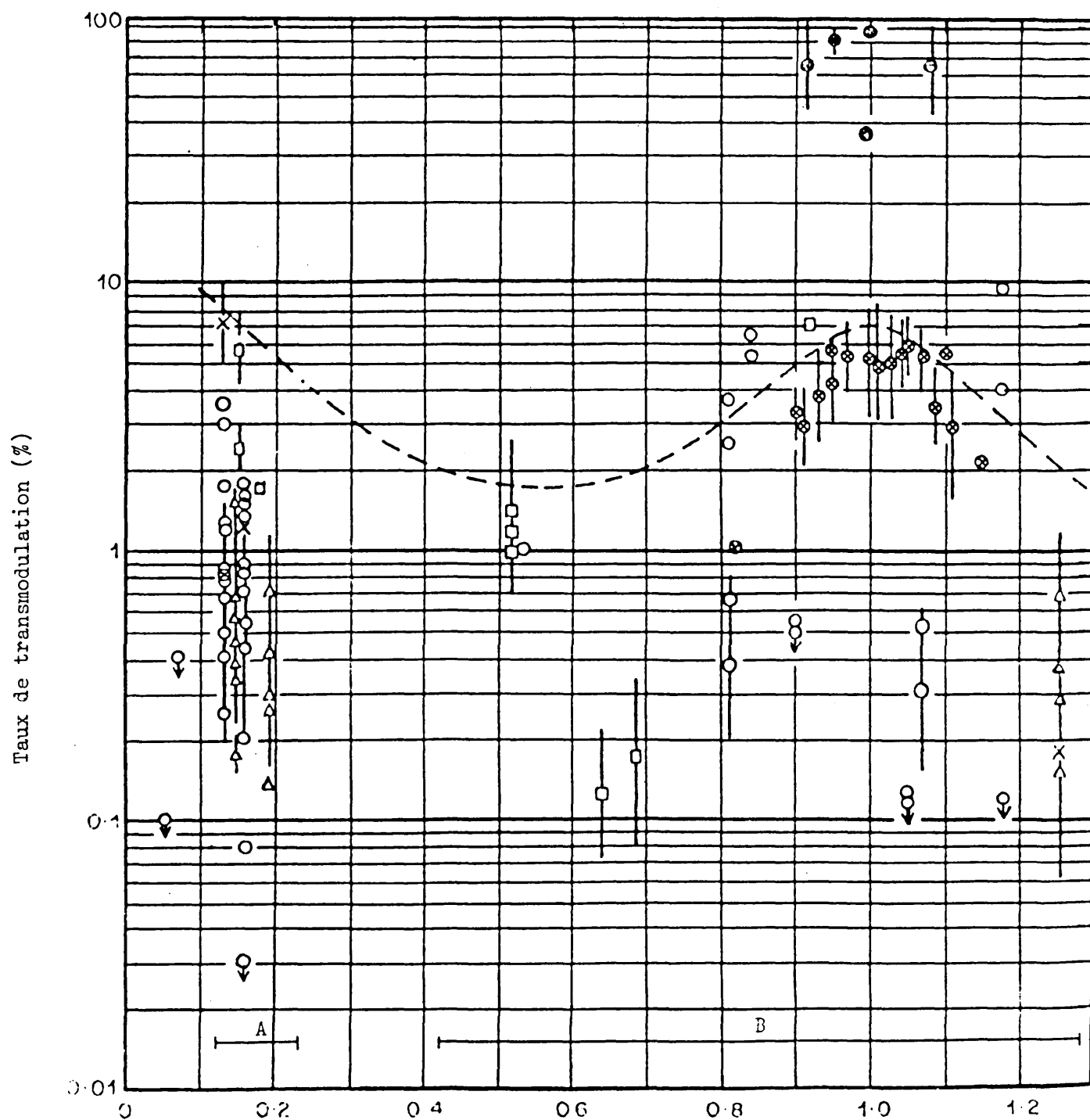
En pratique on doit tenir compte du diagramme vertical de l'antenne ainsi que de l'augmentation de la distance entre l'antenne et le point de réflexion dans des directions différentes de la verticale. La Fig. 3 indique l'augmentation du rayonnement admissible dans des directions autres que la verticale due uniquement à l'augmentation de la distance. Une augmentation ou une diminution de ce rayonnement pourra résulter du diagramme vertical de l'antenne. Pour l'application pratique, l'influence de la distance au point de la réflexion, et du diagramme vertical, a été combinée en un seul facteur de correction ΔP qu'il faut ajouter aux valeurs tirées de la Fig. 2. Ce facteur de correction a été calculé pour des antennes verticales de différentes longueurs électriques $\chi \approx l/\lambda$ et pour les doublets demi-onde horizontaux à différentes hauteurs $\chi \approx h/\lambda$ au-dessus du sol en supposant que la couche ionosphérique où se produit la transmodulation est à 85 km d'altitude. Le résultat de ce calcul est donné à la Fig. 4.

Dans le cas où un service nocturne par onde de sol est à protéger de la transmodulation, on peut supposer que le champ d'espace de l'émetteur utile est inférieur de 10 dB au champ direct à la limite de la zone de service. Comme seule la composante d'espace est sujette à la transmodulation, on peut admettre une augmentation de 5 dB du rayonnement, si l'on ne considère que le service par onde de sol; d'où la courbe B de la Fig. 2.

A titre d'exemple, considérons une antenne verticale courte, en ondes kilométriques ($f_b/f_g = 0,2$). La Fig. 2 montre que pour protéger un service par onde de sol, la p.a.r.v. maximale dans la direction verticale doit être de 20 dB par rapport à 1 kW, soit 100 kW. Mais cette antenne

courte produit un champ maximal dans l'ionosphère sous un angle de site de 45° ; la Fig. 3 montre qu'on peut admettre une augmentation de 3 dB pour cet angle, d'où une p.a.r.v. de 200 kW. Il est toutefois plus commode de spécifier la p.a.r.v. dans la direction horizontale. Pour une antenne courte, elle est de 3 dB plus élevée qu'à 45° , soit 400 kW.

On trouve dans ce cas, à l'aide de la courbe A de la Fig. 4, la valeur $\Delta P = +6$ dB pour une antenne courte verticale ($l/\lambda \ll 0,1$) d'où une puissance totale fournie à l'antenne de $P = +26$ dB (1 kW) $\approx$ 400 kW.



Fréquence normalisée de l'émetteur brouilleur par rapport
à la fréquence gyromagnétique, f_b/f_g

FIGURE 1

Mesure de la transmodulation ionosphérique
à des latitudes moyennes

☐	: Mesures faites avant 1945	/ van der Pol et van der Mark, 1935; Bäumler et Pfitzer, 1935; Bailey, 1937; Grosskopf, 1938_7
O	: Mesures faites à Cambridge et Birmingham	/ Huxley et autres, 1947; Ratcliffe et Shaw, 1948; Huxley et autres, 1948; Huxley, 1950; Shaw, 1951; Bell, 1951_7
●	: Mesures italiennes	/ Cutolo et Ferrero, 1948 et 1949; Cutolo et autres, 1950; Cutolo, 1952_7
⊗	: Mesures australiennes	/ Bailey et autres, 1952; Hibberd, 1964_7
Δ	: Mesures faites après 1945	/ Haberkant et Vogt, 1966; Haberkant et autres, 1971_7
X	: Autres mesures	
----	: Limite supérieure semi-empirique	
A	: Bande 5 (ondes kilométriques)	
B	: Bande 6 (ondes hectométriques)	

Note. - Les lignes verticales représentent la gamme des valeurs médianes mesurées pendant une nuit, ou au cours de plusieurs nuits. Les flèches pointées vers le bas indiquent qu'il existe des mesures qui sont inférieures à la valeur indiquée.

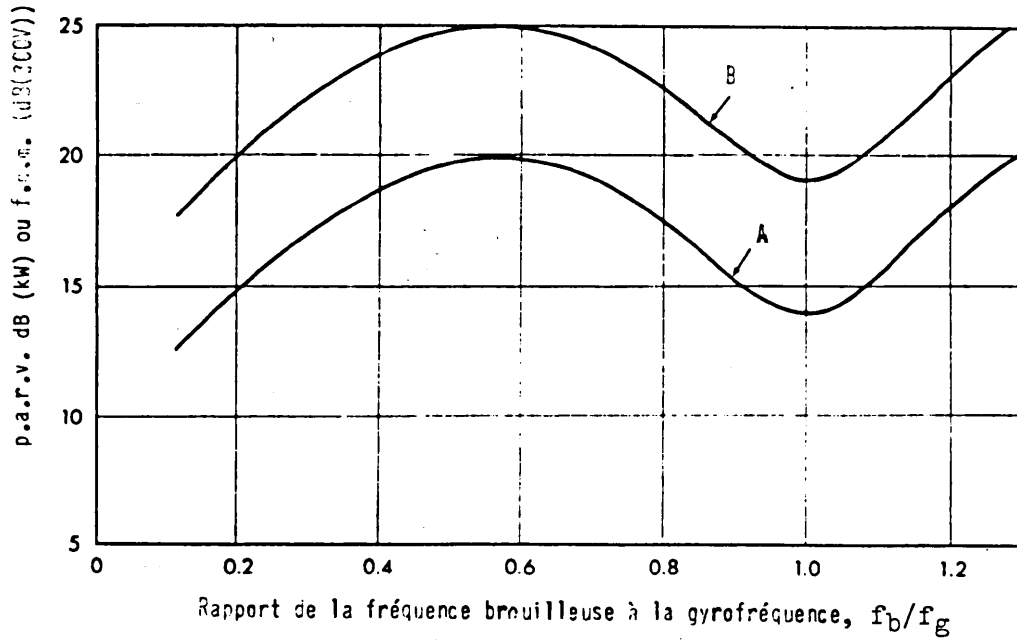


FIGURE 2

Rayonnement à incidence verticale donnant une transmodulation quasi-maximale de 6,3 % à 300 Hz

Courbe A : pour la protection du service par onde ionosphérique

Courbe B : pour la protection du service par onde de sol

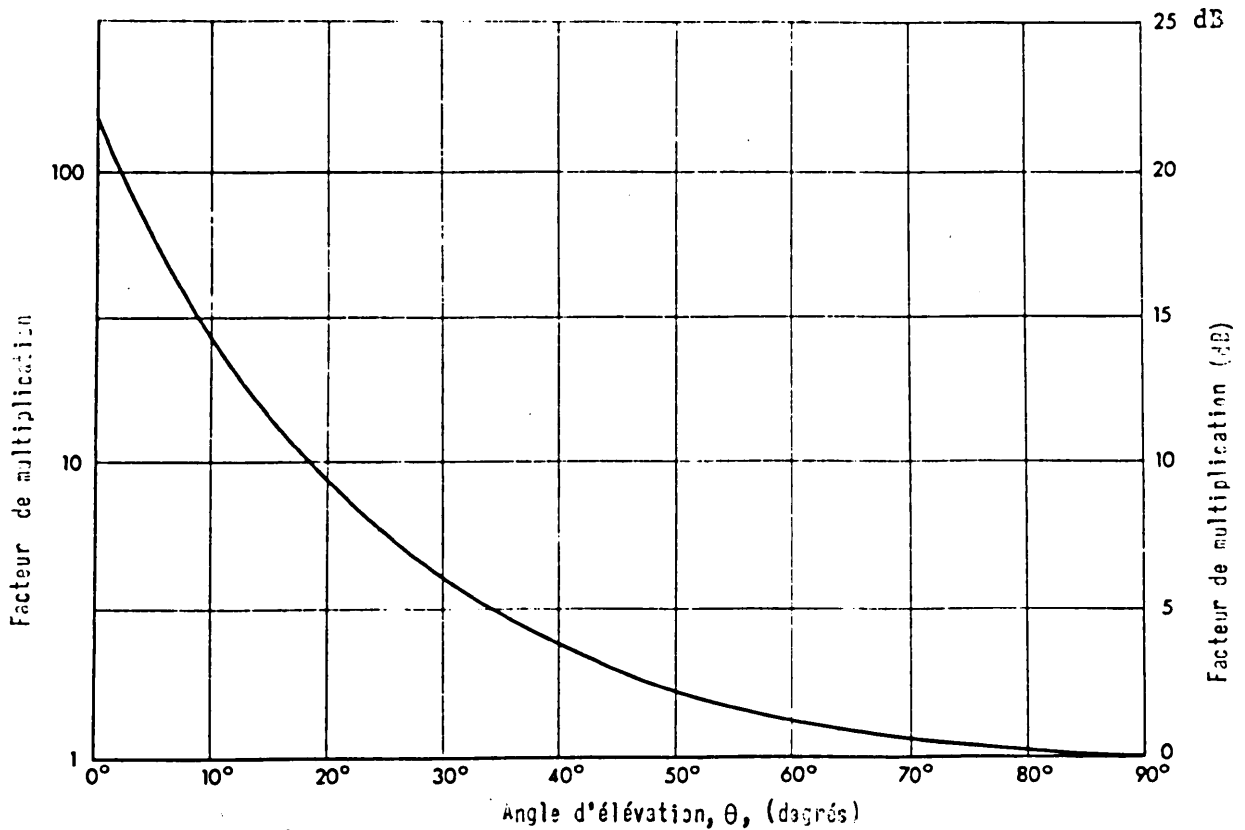


FIGURE 3

Variation du rayonnement admissible en fonction de l'angle de site (en tenant compte de la courbure de la Terre et en admettant que la transmodulation se produit à une altitude de 85 km)

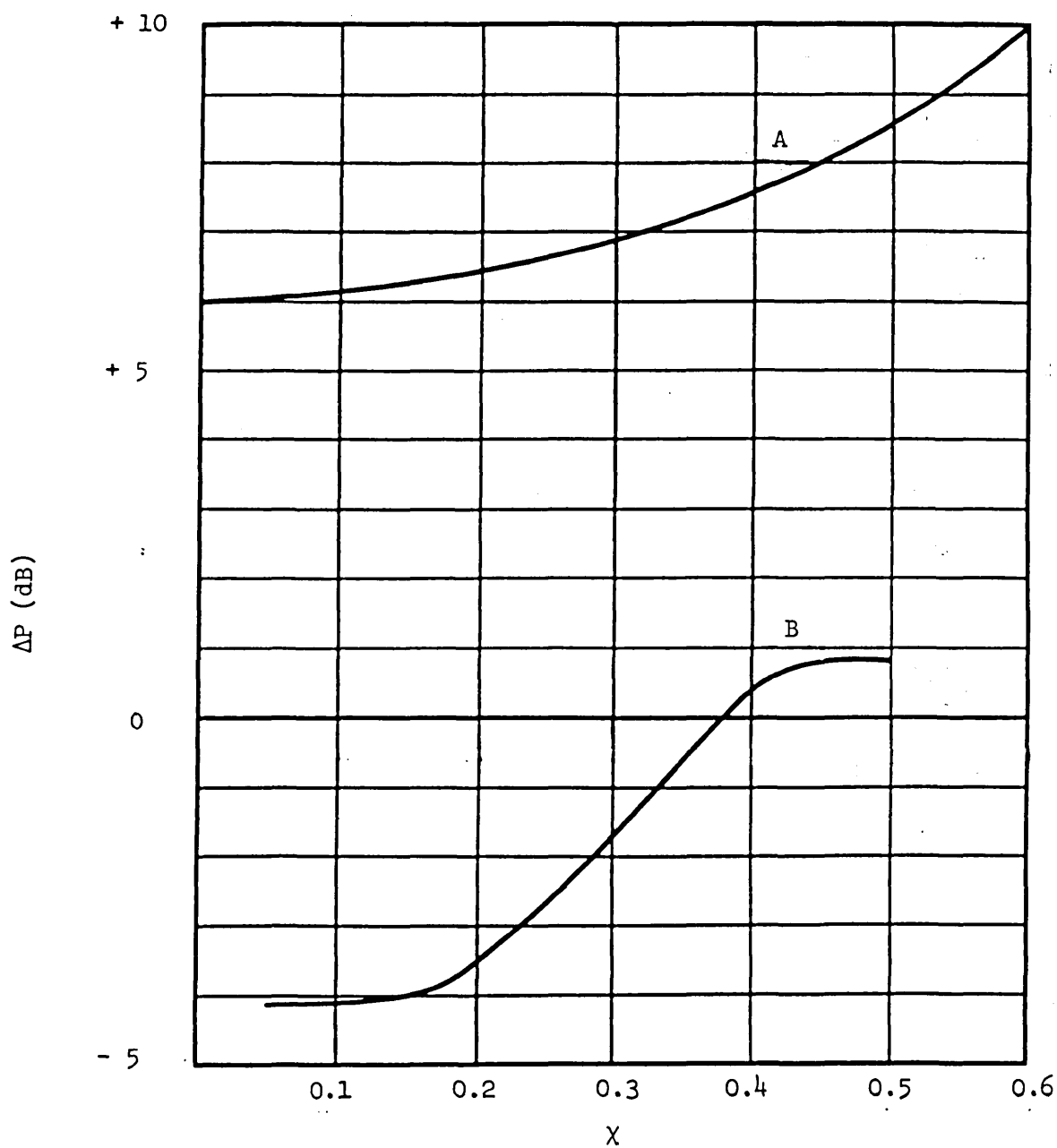


FIGURE 4

Facteur de correction ΔP pour divers types d'antenne

Courbe A : Antenne verticale

χ : hauteur relative de l'antenne (ℓ/λ) (%)

Courbe B : Doublet horizontal ($\ell = 0,5\lambda$)

χ : hauteur relative au-dessus du sol (h/λ) (%)

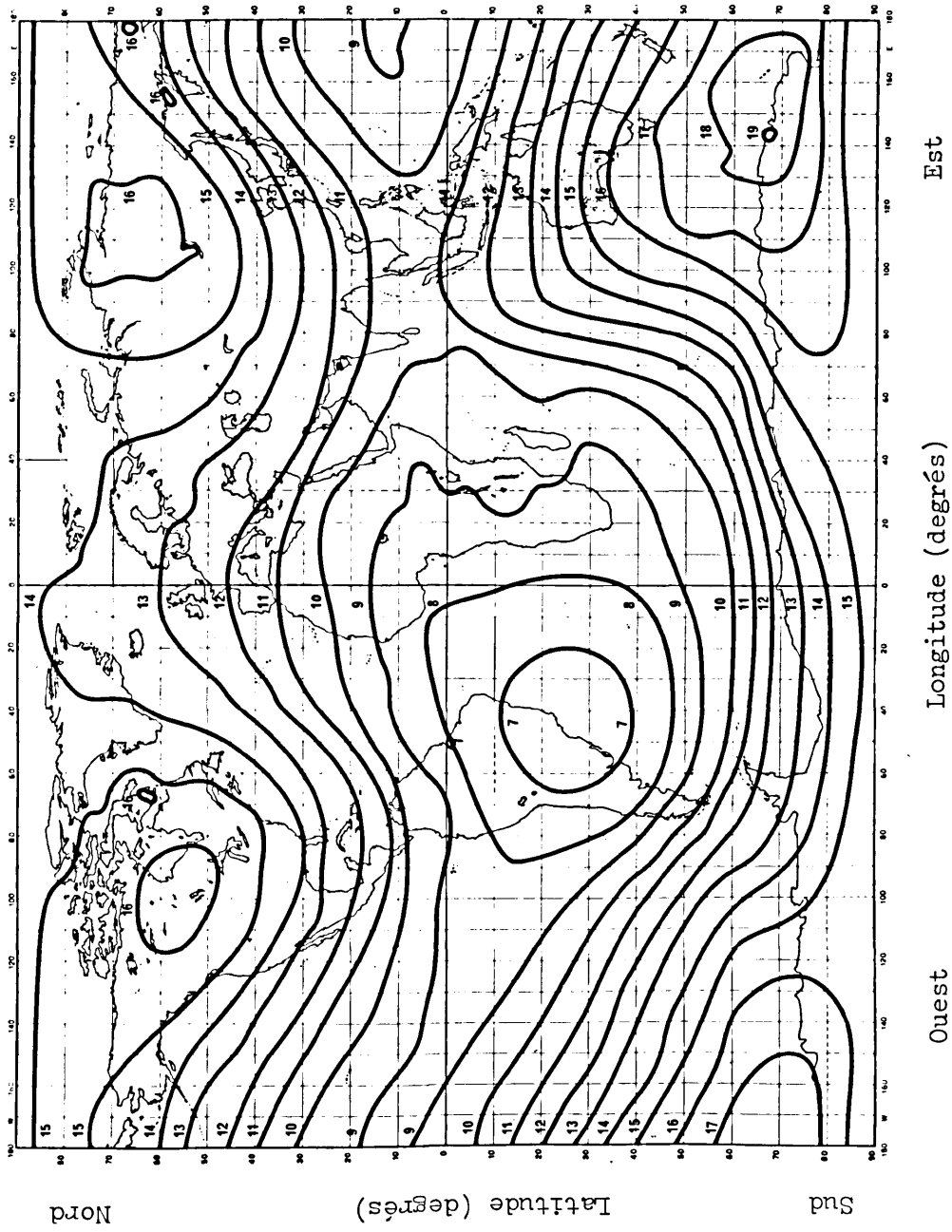


FIGURE 5
Répartition mondiale de la gyrofréquence (MHz)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAILEY, V.A. [15 mai 1937] Resonance in the interaction of radio waves, Nature, 838-839.
- BAILEY, V.A. et autres [mai 1952] Resonance in gyro-interaction of radio waves. Nature, Vol. 169, 911-913.
- BÄUMLER, M. et PFITZER, W. [décembre 1935] Untersuchung der gegenseitigen Modulationsbeeinflussung elektrischer Wellen mit deutschen Rundfunksendern (Investigation de l'influence de l'intermodulation entre les ondes radio-électriques utilisant les émissions de la Radiodiffusion allemande). Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, Vol. 46, 181-186.
- BELL, D.A. [1951] Ionospheric interaction in disturbed conditions. Proc. Phys. Soc. (Section B), Vol. 64, 1053-1062.
- CUTOLO, M. [mai 1952] Determinazione sperimentale delle curve di risonanza nel moto degli elettroni lenti dell'alta atmosfera (Détermination expérimentale des courbes de résonance du mouvement des électrons lents dans la haute atmosphère). Nuovo Cimento, Vol. IX, 391-406.
- CUTOLO, M. et FERRERO, R. [octobre 1948] Misura del grado di modulazione parassita nel fenomeno di girointerazione (Mesure de l'intensité de modulation parasite dans le phénomène de gyro-interaction). Alta Frequenza, Vol. XVII, 212-216.
- CUTOLO, M. et FERRERO, R. [janvier 1949] Photographic record and diagrams of Luxembourg effect with resonance (gyro-interaction). Nature, Vol. 163, 58-59.
- CUTOLO, M. FERRERO, R. et MOTOZO, M. [1950] Determinazione sperimentale della curva di risonanza nel fenomeno di girointerazione (Détermination expérimentale de la courbe de résonance dans le phénomène de gyro-interaction) Alta Frequenza, Vol. XIX, 3-8.
- GROSSKOPF, J. [janvier 1938] Die gegenseitige Modelungsbeeinflussung elektromagnetischer Wellen in der Ionosphäre (Les effets de l'intermodulation dans l'ionosphère entre les ondes radioélectriques). Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, Vol. 51, 18-30.

- HABERKANT, E. et VOGT, K. [août 1966] Mesure de la transmodulation ionosphérique sur deux émetteurs de grande puissance en ondes longues. Revue de l'U.E.R., 98-A, 154-161.
- HABERKANT, E. et VOGT, K. [1966] Messung der ionosphärischen Kreuzmodulation bei den Langwellen-Rundfunksendern Europa I und Luxemburg (Mesure de la transmodulation ionosphérique dans les émissions à grandes ondes de Europe I et Luxembourg). Rundfunktechnische Mitteilungen, 4, 206-212.
- HABERKANT, E., HEINZELMANN, G. et VOGT, K. [avril 1971] La mesure de la transmodulation ionosphérique. Revue de l'U.E.R., 126-A, 50-55.
- HABERKANT, E., HEINZELMANN, G. et VOGT, K. [1971] Die Messung der ionosphärischen Kreuzmodulation (La mesure de la transmodulation ionosphérique). Rundfunktechnische Mitteilungen 2, 49-55.
- HIBBERT, F.H. [1964] An experimental study of gyro-interaction in the ionosphere, at oblique incidence. National Bureau of Standards Technical Note 211, Vol. 4, 45-64.
- HUXLEY, L.G.H. [février 1950] Ionospheric cross-modulation at oblique incidence. Proc. Royal Society, Vol. 200, Série A, 486-511.
- HUXLEY, L.G.H. [1952] A synopsis of ionospheric cross-modulation. Nuovo Cimento, Supplément au Vol. IX, Série IX, 59-89.
- HUXLEY, L.G.H., FOSTER, H.G. et NEWTON, C.C. [1er mars 1947] Gyro interaction of radio waves. Nature, 300-301.
- HUXLEY, L.G.H., FOSTER, H.G. et NEWTON, C.C. [août 1948] Measurements of the interaction of radio waves in the ionosphere, Proc. Phys. Soc., Vol. 61, 134-146.
- KNIGHT, P. [mai 1973] LF and MF propagation : a study of ionospheric cross-modulation measurements. BBC Engineering. N° 94, 12-21.
- LAITINEN, O.P., HAYDEN, G.W. [1950] Analysis and prediction of sky-wave field intensities in the HF-band, RPU 203, Technical Report N° 9, Signal Corps Radio Propagation Agency, Fort Monmouth, New Jersey, U.S.A.
- RATCLIFFE, J.A. et SHAW, I.J. [juillet 1948] A study of the interaction of radio waves. Proc. Royal Society, Vol. 193, Série A, 311-343.
- SHAW, I.J. [janvier 1951] Some further investigations of ionospheric cross-modulation. Proc. Phys. Soc. (Section B), Vol. 64, 1-20.

SHAW, I.J. [novembre 1951] Ionospheric cross-modulation. Wireless Engineer, Vol. 28, 335-342.

VAN DER POL, B. et VAN DER MARK, J. [1935] Interaction of radio waves. Tijdschrift Nederlandsch Radio Genootschap, Vol. 7, Partie I, 12-17, Partie II, 93-97.

WHYTHE, D.J. et REED, C.R.G. [1973/5] Ionospheric non-linearity : protection ratios required against cross-modulation interference (Luxembourg Effect). BBC Research Department Report.

BIBLIOGRAPHIE

BAILEY, V.A. [1956] On the interaction of radio waves. Nuovo Cimento, Supplément au Vol. IV, Série X, 1430-1449.

B.B.C. [6 novembre 1968] Research Department. Report RA-17. Ionospheric non-linearity, Doc. Com.T.(A)73/Com.T.(B)97.

RAPPORT 616*

COUVERTURE EN RADIODIFFUSION SONORE DANS LA BANDE 6

(ONDES HECTOMETRIQUES) : PROBLEMES D'EXPLOITATION

(Programme d'études 25F-1/10)

(1974)

1. Couverture diurne

Les résultats suivants sont basés sur les courbes de propagation par onde directe données dans l'Avis 368-2.

Du fait de l'absorption importante de l'onde ionosphérique pendant la journée, seule l'onde de sol est utilisable. Le rayon de service (voir l'Annexe I) dépend de la fréquence et des caractéristiques électriques du sol à l'intérieur de la zone de service; pour les puissances d'émission élevées, ce rayon est de l'ordre de 100 km. Un réseau d'émetteurs optimisé pour la couverture diurne peut être établi avec des distances très faibles entre émetteurs de même canal, c'est-à-dire avec une densité d'émetteurs considérablement plus élevée que la densité actuelle. Par exemple pour une distance moyenne de 500 km environ entre émetteurs fonctionnant dans un même canal, un réseau d'émetteurs exploité de jour conduirait à la desserte de la totalité du territoire avec environ dix programmes et une bonne qualité de réception.

La couverture pendant la journée ne pose donc pas de problèmes du point de vue technique.

2. Couverture nocturne

Au crépuscule, l'absorption de l'onde ionosphérique est très réduite, et, à des distances de plusieurs milliers de kilomètres, des champs élevés apparaissent durant une période d'une ou deux heures. Il en résulte des brouillages qui limitent la zone de service par onde de sol. On considère l'onde ionosphérique comme constituant surtout une source de brouillage et ce n'est que dans des cas spéciaux qu'on peut envisager l'emploi systématique de cette onde.

Pendant la nuit, la présence de l'onde ionosphérique pose des problèmes techniques complexes, et oblige à une planification s'étendant à de très grandes zones, sur la base des accords internationaux.

* Adopté à l'unanimité

Pour obtenir une image claire des possibilités de programmes radio-phoniques en ondes hectométriques dans diverses hypothèses de base, on a fait dans le cadre de l'U.E.R., un grand nombre d'essais de répartition de fréquences, et on a calculé les facteurs de couverture obtenus. Les études ont été faites pour des régions géographiques données, en particulier pour les Zones de radiodiffusion européenne et africaine.

Ces exercices ont été faits en considérant des émetteurs assez uniformément répartis dont la puissance identique est rayonnée par une antenne équidirective, mais dont les emplacements coïncident avec les emplacements réels ou prévus en Europe et en Afrique. Les zones de couverture ont été calculées par une méthode statistique, en tenant compte uniquement des brouillages dus aux autres émetteurs. Cette méthode de calcul permet de comparer valablement les résultats obtenus pour deux exercices différents, mais on ne devrait pas utiliser sans précaution les valeurs absolues des résultats.

Les calculs ont été effectués en utilisant différentes valeurs du rapport de protection aux fréquences radioélectriques*. Ces diverses valeurs du rapport de protection correspondent évidemment à des qualités de service différentes. Il va de soi que les zones de service ainsi calculées sont d'autant plus grandes que le rapport de protection est plus faible. L'augmentation de la zone de service, lorsque le rapport de protection (c'est-à-dire la qualité du service) diminue, ne signifie pas que l'on obtiendra ainsi de meilleures conditions d'écoute : les conditions d'écoute ne dépendent pas du rapport de protection, mais uniquement de la puissance et de la disposition des émetteurs brouilleurs.

Il convient de noter que si l'on compare les résultats de deux exercices différents, ces différences peuvent être plus ou moins prononcées suivant le rapport de protection, c'est-à-dire la qualité de service recherchée. C'est pourquoi, les résultats des calculs ne doivent pas être discutés sans indication de la qualité de service correspondante.

Enfin, il est bon de rappeler qu'on a utilisé dans les calculs des données statistiques de propagation. En particulier, on a choisi des courbes de prévision du champ ionosphérique qui représentent des valeurs médianes (c'est-à-dire, pendant 50 % du temps) pour une fréquence moyenne de 1 000 kHz.

On peut donc supposer que les résultats obtenus représentent la situation moyenne pour l'ensemble de la bande hectométrique.

Quelques-uns de ces résultats sont résumés ci-après.

* Rapport de protection aux fréquences radioélectriques défini dans l'Avis 447.

2.1 Couverture nocturne par onde de sol

La couverture globale obtenue par onde de sol dépend en premier lieu de la distance entre émetteurs de même canal, c'est-à-dire de la densité d'émetteurs. Pour une puissance d'émission donnée, la couverture par onde de sol croît avec cette distance (voir le Rapport 400-2). Ainsi, pour des émetteurs de 300 kW et des rapports de protection supposés de 40 dB, 33 dB et 27 dB, l'emploi des 121 canaux actuellement disponibles dans la bande des ondes hectométriques permet de couvrir les pourcentages suivants de la surface de l'ensemble de l'Europe et de l'Afrique :

TABLEAU I

Distance entre émetteurs de même canal (km)	Couverture par onde de sol					
	Rapport de protection aux fréquences radioélectriques					
	40 dB		33 dB		27 dB	
	Nombre de programmes	Surface couverte (%)	Nombre de programmes	Surface couverte (%)	Nombre de programmes	Surface couverte (%)
2700	1	6	1	11	1	21
3500	1	8	1	15	1	25
4100	1	9	1	17	1	28

Par suite de l'incertitude des prévisions du champ aux distances supérieures à 3500 km, il n'est pas encore possible de préciser jusqu'à quel point le choix de distances supérieures aux valeurs indiquées augmenterait encore la couverture par onde de sol. Les facteurs de couverture mentionnés ci-dessus peuvent éventuellement être améliorés par l'emploi de réseaux synchronisés et d'antennes directives. En outre, la couverture en population peut être supérieure à la couverture en surface en choisissant convenablement l'emplacement des émetteurs. On dispose de peu de renseignements numériques sur ces améliorations possibles.

Le problème de la puissance d'émission qui donne la plus grande couverture possible par onde de sol pour une densité d'émetteurs donnée fait l'objet d'études détaillées (voir Rapport 400-2) d'où l'on peut déduire une réponse suffisamment précise. De plus, il faut se souvenir que la couverture nocturne par onde de sol est aussi limitée par les brouillages entre l'onde de sol et l'onde ionosphérique du même émetteur. Il n'a toutefois pas été tenu compte de cet effet pour calculer les valeurs approximatives de la portée de service indiquées dans l'Annexe II.

2.2 Couverture par onde ionosphérique

En utilisant les même hypothèses qu'au § 2.1 (émetteurs de 300 kW et rapports de protection de 40 dB, 33 dB ou 27 dB), l'onde ionosphérique procurerait la couverture suivante de l'ensemble des surfaces de l'Europe et de l'Afrique en utilisant la totalité de la bande hectométrique :

TABLEAU II

Distance entre émetteurs de même canal (km)	Couverture par onde ionosphérique					
	Rapport de protection aux fréquences radioélectriques					
	40 dB		33 dB		27 dB	
	Nombre de programmes	Surface couverte (%)	Nombre de programmes	Surface couverte (%)	Nombre de programmes	Surface couverte (%)
2700	négligeable		1	30	6,1	100
3500	1	15	7,4	100	23,3	100
4100	2,5	100	14,9	100	31,6	100

On constate que le service nocturne par onde ionosphérique dépend, beaucoup plus que le service par onde de sol, de la densité d'émetteurs adoptée : pour des densités élevées d'émetteurs (c'est-à-dire des distances inférieures à 2700 km dans le même canal), la couverture nocturne par onde ionosphérique décroît rapidement tandis qu'une distance de 4100 km dans le même canal permettrait de recevoir plusieurs programmes à n'importe quel endroit de la zone considérée. Naturellement la majorité de ces programmes proviendrait d'un émetteur se trouvant à grande distance du point de réception. En outre, il ne faut pas perdre de vue qu'il n'est pas possible d'obtenir en permanence une bonne qualité en onde ionosphérique, contrairement au cas de l'onde de sol. Il faut également tenir compte du fait qu'en pratique, la zone couverte la nuit ne sera pas continue, car il y aura une zone annulaire aux alentours de 100 à 200 km, avec des évanouissements sélectifs dus à l'interférence entre ondes de sol et ionosphérique. Ce phénomène a été négligé dans les études jusqu'à présent. Des exemples de valeurs approximatives de la portée de service sont donnés dans l'Annexe II. Il reste que l'emploi de l'onde ionosphérique permettrait de mieux utiliser le spectre pour ce qui est de la zone couverte, car le rapport entre les surfaces des zones desservies et des zones de brouillage est plus favorable. Finalement, il est bon de rappeler qu'une couverture nocturne satisfaisante par onde de sol conduira normalement aussi à une couverture satisfaisante par onde ionosphérique.

2.3 Combinaison des services par onde de sol et par onde ionosphérique

Les § 2.1 et 2.2 permettent de conclure qu'on peut obtenir de bons résultats pour les deux types de service si les émetteurs de grande puissance et de même canal sont suffisamment éloignés.

3. Combinaison des services nocturne et diurne

Comme il a été montré aux § 1 et 2, les réseaux d'émetteurs conçus pour une bonne couverture diurne diffèrent fondamentalement de ceux établis pour une bonne couverture nocturne : les distances entre émetteurs de même canal seraient, par exemple, d'environ 500 km dans le premier cas et 4000 km dans le second cas. Comme le nombre total des émetteurs des deux réseaux correspondants serait dans un rapport égal au carré du rapport des distances entre émetteurs dans le même canal, la coexistence des deux réseaux signifierait que, dans cet exemple, seul un émetteur sur 64 pourrait fonctionner après le coucher du soleil. Dans cet exemple, on compare deux cas extrêmes de couverture optimale, mais ni l'une ni l'autre ne correspond à la pratique actuelle. Tout réseau dans lequel chaque émetteur resterait en service jour et nuit conduirait à une couverture réduite soit dans la journée, soit pendant la nuit, ou, dans le cas d'un réseau constitué suivant un compromis entre les deux types, à une couverture moins bonne aussi bien le jour que la nuit.

D'autre part, le passage entre un réseau diurne et un réseau nocturne, conçus tous deux pour réaliser une couverture efficace poserait des problèmes sur les plans opérationnel et administratif. En fait, comme il a été montré, la majorité des émetteurs diurnes devraient être arrêtés au coucher du soleil jusqu'au lever du soleil pour éviter des brouillages prohibitifs pendant les heures de nuit. L'heure d'arrêt de l'émission dépend en effet de la saison et de la latitude, surtout aux latitudes élevées et moyennes. En outre, à cause de l'apparition relativement lente de l'onde ionosphérique au coucher du soleil, il y aura toujours une période pendant laquelle les réseaux d'émetteurs diurnes seront brouillés (si tous les émetteurs fonctionnent encore) ou bien pendant laquelle l'onde ionosphérique sera encore trop faible. Bien que les inconvénients mentionnés ci-dessus paraissent rendre impraticable un tel mode d'exploitation sur des bases systématiques, les avantages qui pourraient en résulter sont tels qu'un examen plus approfondi est souhaitable, notamment pour certains cas particuliers.

4. Population desservie

La question de la couverture a un autre aspect que celui, d'ailleurs important, de la couverture en surface; c'est celui de la couverture en population. Des études à ce sujet ont été entreprises dans certains pays / Suzuki et autres, 1974 /, mais ce point demande à être étudié plus avant.

5. Améliorations de la couverture

5.1 Réseaux synchronisés

Un réseau synchronisé est un groupe d'émetteurs fonctionnant sur la même fréquence et transmettant le même programme. Un tel réseau est destiné essentiellement à un service par onde de sol.

Dans la plupart des pays européens, l'emploi de réseaux synchronisés à la place d'un émetteur unique, de puissance égale à la somme des puissances des émetteurs du réseau conduit à une meilleure adaptation des zones desservies à la répartition de la population et, par suite, à une augmentation du nombre d'auditeurs desservis. L'Annexe III donne quelques exemples de résultats obtenus en divers pays. Les réseaux synchronisés sont surtout efficaces dans les pays où il existe des zones à forte densité de population relativement éloignées.

Il faut noter aussi que :

- la qualité de la réception par onde ionosphérique n'est acceptable que dans les zones où le champ d'un des émetteurs est nettement prédominant;
- le brouillage dû à un réseau synchronisé est équivalent à celui d'un émetteur unique (de puissance égale à la puissance totale du réseau) supposé situé au "centre de gravité" du réseau, tout au moins lorsque la distance moyenne entre émetteurs du réseau est inférieure au dixième environ de la distance de l'émetteur de même canal le plus proche;
- les réseaux synchronisés sont peu utilisables pour les pays de très petites dimensions;
- l'emploi d'antennes directives à l'émission améliore la couverture d'émetteurs synchronisés;
- l'utilisation de démodulateurs synchrones conduit à une diminution des distorsions non linéaires dues aux interférences entre émetteurs d'un réseau synchronisé, ce qui augmenterait la couverture obtenue par de tels réseaux.

D'autre part, les émetteurs d'un réseau synchronisé peuvent diffuser des programmes différents, mais uniquement en période diurne et si les émetteurs sont suffisamment éloignés.

Il est évident que les frais d'investissement et d'exploitation sont plus élevés pour un réseau synchronisé que pour un émetteur unique; cependant, l'emploi de réseaux synchronisés doit être envisagé chaque fois qu'on peut escompter bénéficier des avantages mentionnés.

5.2 Directivité des antennes

5.2.1 Diagramme vertical des antennes d'émission à polarisation verticale

On peut concevoir une antenne possédant un diagramme de rayonnement spécial dans le plan vertical tel que la puissance soit concentrée dans un ou plusieurs secteurs verticaux particuliers, permettant ainsi de réaliser le type de couverture demandé.

En concentrant l'énergie dans le plan proche de l'horizontale, il est possible d'augmenter la couverture diurne par onde de sol ou d'utiliser une puissance d'émission moindre, sans réduire la couverture. Lorsque la couverture par onde de sol est limitée par les évanouissements et non par le brouillage des émetteurs de même canal, une antenne anti-évanouissement pourrait améliorer cette couverture. Une telle amélioration ne saurait toutefois être obtenue que pour des fréquences situées dans la partie inférieure de la bande hectométrique et en des emplacements où la conductivité du sol serait supérieure à la moyenne. Enfin, des antennes de ce type peuvent contribuer à réduire l'intermodulation ionosphérique. En revanche, elles fournissent un moins bon service par onde ionosphérique pour des portées plus petites, lorsque le brouillage est le même à des distances supérieures à 2000 km.

En concentrant l'énergie en dehors du plan horizontal, on améliore la couverture par onde ionosphérique, mais la couverture par onde de sol devient moins bonne et le risque d'intermodulation ionosphérique augmente.

5.2.2 Diagramme horizontal des antennes d'émission à polarisation verticale

On peut réaliser des conditions particulières de couverture en concentrant l'énergie rayonnée dans certaines directions horizontales. Tout en n'apportant pas une amélioration de la couverture globale, l'emploi généralisé d'antennes directives dans un plan d'assignation de fréquence peut favoriser la couverture nationale des pays, essentiellement parce que ces antennes permettent une meilleure adaptation à certaines zones de service souhaitées, et également une réduction du brouillage dans des cas particuliers. D'autre part, dans certains cas particuliers, l'emploi d'antennes directives dans le plan horizontal peut permettre d'utiliser un canal dans une zone donnée, alors qu'il serait impossible de l'utiliser avec une antenne équidirective dans le plan horizontal. Une telle antenne directive permet en effet de réduire le brouillage dans la zone de service d'un émetteur partageant le même canal, et par suite, de réduire la distance de partage. Ceci est un des principaux avantages des antennes directives.

5.2.3 Aspects économiques

D'une façon générale, une antenne qui doit satisfaire à des caractéristiques de rayonnement spéciales est plus coûteuse qu'une simple antenne non-directive. Des conditions spéciales pour le diagramme vertical entraînent généralement des structures plus élevées, et le coût augmente rapidement avec la hauteur.

Les conditions spéciales pour le diagramme horizontal conduisent à des antennes à plusieurs éléments, et nécessitent une plus grande surface de terrain.

Le coût de telles antennes est moindre dans la partie haute des fréquences hectométriques. Les conditions climatiques locales peuvent être un facteur important du prix de l'antenne.

5.3 Comparaison des antennes à éléments rayonnants verticaux et à éléments rayonnants horizontaux

Une antenne d'émission verticale classique assure un service par onde de sol avec une portée réduite, et un service nocturne par onde ionosphérique avec des portées plus grandes. A des distances intermédiaires, il existe une zone dans laquelle les évanouissements sont plus gênants, les champs dus à l'onde de sol et à l'onde ionosphérique sont à peu près égaux.

L'emploi d'un élément rayonnant horizontal, ou d'un groupement de tels éléments, comme on peut le faire en ondes hectométriques, offre des avantages certains, quand le but principal est le service nocturne par onde ionosphérique, mais ne convient pas pour un service diurne par onde de sol.

L'avantage essentiel est qu'on peut arriver à obtenir ainsi un champ ionosphérique à peu près constant, depuis l'émetteur jusqu'aux limites de la zone de service. Une telle antenne peut être étudiée pour un rayon de service atteignant le maximum réalisable (environ 1.000 km), ou bien une portée plus limitée (500 km par exemple). Cependant, au voisinage immédiat de l'émetteur (quelques kilomètres), il peut y avoir une dégradation de la qualité par suite de l'interférence entre l'onde de sol, faible mais inévitable, et l'onde ionosphérique. S'il faut desservir cette zone, un petit émetteur "de remplissage" sur une fréquence différente, et une polarisation verticale, peuvent être nécessaires.

Des calculs tenant compte des différentes directivités et des différents affaiblissements par couplage de polarisation ont été faits dans le cas d'un simple doublet horizontal au lieu d'une antenne verticale courte / Suzuki et autres, 1974 /. Il convient de souligner l'importance de la conductivité imparfaite du sol qui, non seulement, diminue le rayonnement des antennes verticales aux petits angles de site, mais augmente le rayonnement

des antennes horizontales pour ces petits angles dans certaines directions. Dans ce dernier cas, et pour le brouillage dans le même canal dû au rayonnement sous de petits angles, la réduction à laquelle on peut s'attendre en utilisant une antenne à éléments horizontaux au lieu d'une antenne verticale, risque d'être surestimée jusqu'à 20 dB, si on suppose le sol parfaitement conducteur, alors qu'en pratique, sa conductivité est médiocre.

Les résultats d'études théoriques [B.B.C., 1972] montrent que, pour une puissance d'émission donnée, lorsque les réflexions sont limitées à la région E, un doublet horizontal simple au lieu d'une antenne verticale courte peut réduire de 10 à 15 dB le brouillage dans un même canal pour des valeurs courantes de la conductivité du sol. Des études et des mesures faites aux latitudes tempérées ont toutefois montré qu'aux fréquences et aux heures auxquelles on observe des réflexions sous de grands angles dans la région F, cet avantage perd beaucoup de son importance du fait que la propagation par plusieurs bonds est alors fortement stimulée.

Un des inconvénients d'une antenne à éléments horizontaux est qu'il faut lui substituer une antenne verticale pour assurer un service diurne, mais en général on peut obtenir une zone de service comparable sans recourir à plusieurs émetteurs. Dans ce cas également, il y a le problème du changement des conditions d'exploitation déjà discuté au § 3. Un autre inconvénient est le coût des antennes, surtout aux fréquences basses de la bande hectométrique.

Il sera généralement nécessaire de limiter le rayonnement suivant l'angle de site, afin d'éviter une grave intermodulation ionosphérique. (Voir le Rapport 460-1). Il peut être plus difficile de respecter cette condition avec des antennes à éléments horizontaux qu'avec des antennes verticales.

On a suggéré qu'une antenne à éléments horizontaux devrait être composée d'une ou plusieurs paires de doublets croisés, convenablement alimentés, pour obtenir des ondes polarisées elliptiquement dans certaines directions, et exciter l'onde ordinaire plus fortement que l'onde extraordinaire. L'avantage essentiel par rapport à une antenne à polarisation rectiligne est que, l'intermodulation ionosphérique étant principalement due à l'onde extraordinaire, cette intermodulation serait, théoriquement, moindre pour une même puissance d'émission. Un autre avantage serait la diminution de l'affaiblissement par couplage de polarisation.

On peut dire pour conclure que l'antenne à éléments horizontaux peut être utile dans certains cas particuliers. On ne peut, toutefois, sur la base des résultats connus, recommander son introduction généralisée dans le but d'augmenter la densité des assignations de fréquence.

Des mesures ont été faites en Pologne en vue de comparer l'efficacité des polarisations verticale et horizontale pour un service par onde de sol de la partie supérieure de la bande hectométrique de radiodiffusion. Elles ont été faites à des distances atteignant 20 km de l'émetteur, sur des trajets traversant des régions construites et non pas des terrains plats et sans obstacle. Les résultats montrent que l'affaiblissement en polarisation horizontale est nettement moins élevé qu'on aurait pu le prévoir d'après la théorie de la propagation sur une terre uniforme / Sixzek et Stasierski /

5.4 Émetteurs de faible puissance

Le but des émetteurs de faible puissance est de desservir des zones de très faible étendue, telles que des villes, où le champ des émetteurs principaux est insuffisant, ou bien éventuellement de permettre la diffusion de programmes locaux.

Pour l'efficacité du service, ces émetteurs doivent faire partie du plan. Il semble qu'ils ne puissent fonctionner en pratique qu'avec un champ protégé nettement supérieur à celui des autres stations (de nuit en particulier).

Outre le cas d'émetteurs de faible puissance faisant partie de réseaux synchronisés (voir § 5.1) ces émetteurs peuvent utiliser :

- soit les canaux affectés à des émetteurs d'autre puissance;
- soit un ou plusieurs canaux particuliers (autrefois nommés "Fréquences communes internationales").

Dans le premier cas, l'emplacement des émetteurs et leurs autres caractéristiques doivent nettement être précisés dans le plan, et toute adjonction ultérieure serait dangereuse. Dans le second cas, il suffirait de préciser les zones géographiques où peuvent se trouver ces émetteurs (compte tenu des brouillages apportés aux canaux adjacents) et, d'autre part, d'indiquer le nombre d'émetteurs par zone et la puissance maximale à ne pas dépasser.

Les études déjà faites indiquent que le nombre actuel des Fréquences communes internationales (deux) est nettement insuffisant, et qu'un nombre de cinq à dix serait préférable.

Sur le plan technique, l'efficacité de ces émetteurs serait la meilleure si leurs canaux se trouvaient dans la partie basse de la bande hectométrique, mais en pratique on sera sans doute conduit à les disperser dans le spectre. D'autre part, la puissance maximale par émetteur et le nombre de ces émetteurs sont fonction de la fréquence / Lari et Moro, 1971 /.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

B.B.C. / 1972 / Rapport N° 1972/21 du Département de recherche de la B.B.C.,
MF propagation : the reduction of interference by the use of horizontal-
dipole transmitting aeralis.

LARI, G. et MORO, G., / octobre 1971 /, Stations de faible puissance en ondes
hectométriques dans la zone européenne de radiodiffusion, Revue de l'U.E.R.
Technique 129, 205-213.

SIXZEK, S., STASIERSKI, L. Porownanie skutecznosci niedawania z polaryzacja
pionowa i pozioma (Comparaison de l'efficacité des antennes d'émission
horizontales et verticales). Prace Instytutu łączności, (sous presse).

SUZUKI, Yoshio et autres / janvier 1974 /, influence of propagation curves
on the coverage factor, NHK Laboratories Note, Serial N° 178.

BIBLIOGRAPHIE

U.E.R. / mai 1974 / Doc. Tech. 3206. Paramètres techniques pour la radiodiffusion
en ondes kilométriques et hectométriques.

C.C.I.R. / 1971-1974 /, Doc. 10/187, Royaume-Uni.

C.C.I.R. / 1971-1974 /, Doc. 10/252, U.E.R.

C.C.I.R. / 1971-1974 /, Doc. 10/271, Pologne.

Annexes : 3

ANNEXE I

VALEUR APPROXIMATIVE DE LA PORTEE DE SERVICE DIURNE

La portée de service diurne a été calculée, en l'absence de brouillage causé par d'autres émetteurs, à l'aide des courbes de propagation de l'Avis 368-2). En ce qui concerne la limitation de la portée de service, on a supposé que les valeurs du champ minimal sont en principe les suivantes :

2,2 mV/m (67 dB (µV/m)) pour le tiers inférieur de la bande hectométrique (525 kHz à 900 kHz environ),

0,8 mV/m (58 dB (µV/m)) pour le tiers supérieur de la bande hectométrique (1 250 kHz environ à 1 605 kHz).

Pour la conductivité du sol, trois valeurs ont été retenues :

- une bonne conductivité ($\sigma = 10 \times 10^{-3}$ S/m)
- une conductivité moyenne ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m)
- une conductivité médiocre ($\sigma = 1 \times 10^{-3}$ S/m).

Quand on considère les chiffres ainsi obtenus, il ne faut pas perdre de vue que la situation moyenne des emplacements d'émetteurs dans de nombreux pays ne correspond nullement à une conductivité de $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m; en outre le fait que ces emplacements sont souvent en terrain accidenté ou montagneux conduit normalement à des portées inférieures à celles indiquées par la suite.

La puissance rayonnée dans le plan horizontal est supposée être de 500 kW.

TABEAU III

Fréquence (kHz)	Rayon de service(km)		
	$\sigma = 1$	$\sigma = 3$	$\sigma = 10$
<u>Tiers inférieur de la bande 6</u>			
525		180	310
900	80	130	
<u>Tiers supérieur de la bande 6</u>			
1 250		105	180
1 605	60	90	

ANNEXE II

VALEUR APPROXIMATIVE DE LA PORTEE DE SERVICE NOCTURNE

La portée de service nocturne a été calculée sur la base des hypothèses suivantes :

- deux émetteurs de même fréquence distants de 3.500 km et rayonnant des puissances égales, d'une valeur telle que leur brouillage mutuel soit le seul facteur qui limite la portée*; il n'a pas été tenu compte de l'interférence entre l'onde de sol de l'émetteur utile et son onde ionosphérique;
- propagation par onde de sol selon l'Avis 368-2;
- conductivité du sol : $\sigma = 3 \cdot 10^{-3}$ S/m;
- propagation de l'onde ionosphérique selon le Rapport 264-3;
- rapport de protection : 27 dB, 33 dB et 40 dB.

TABLEAU IV

Rapport de protection (dB)	Rayon de service (km)	
	525 kHz	1 605 kHz
<u>Couverture par onde de sol</u>		
27	170	90
33	135	70
40	95	55
<u>Couverture par onde ionosphérique</u>		
27	635	850
33	420	660
40	<300 (1)	450

(1) Les courbes du C.C.I.R. ne s'appliquent pas aux distances inférieures à 300 km.

* La tendance indiquée dans le Tableau IV apparaît également pour d'autres cas de brouillage (plus de deux émetteurs, distances différentes, etc.).

ANNEXE III

COUVERTURE OBTENUE PAR DES RESEAUX SYNCHRONISES

Le Tableau V ci-dessous expose le résultat d'études où l'on a comparé la couverture le jour et la nuit, obtenue au moyen de réseaux d'émetteurs synchronisés avec celle qui aurait été obtenue par un émetteur unique fictif, situé à un emplacement approprié et rayonnant une puissance égale à la somme des puissances des émetteurs du réseau synchronisé.

TABLEAU V

Rapport entre les facteurs de couverture obtenus par un groupe d'émetteurs synchronisés et par un émetteur unique

Source	Fréquence (kHz)	Nombre d'émetteurs	Puissance totale (kW)	Rapport de couverture			
				De jour		De nuit	
				Surface	Popula- tion	Surface	Popula- tion
O.R.F.	1 025	4	300	1,45	1,68		1,83
B.B.C.	1 214	16	270		1,26		3,2 ⁽¹⁾ 3,0 ⁽²⁾
RAI	1 367	14	85	2,12	3,84	1,39 ⁽³⁾ 1,18 ⁽⁴⁾ 0,81 ⁽⁵⁾	6,24 ⁽³⁾ 7,39 ⁽⁴⁾ 17,74 ⁽⁵⁾

- (1) Compte tenu des brouillages par les émetteurs autres que ceux appartenant au réseau synchronisé.
- (2) Brouillages mutuels par les émetteurs du réseau synchronisé seulement.
- (3) Rapport de protection pour les émetteurs dans le même canal qui n'appartiennent pas au réseau synchronisé : 20 dB.
- (4) Rapport de protection pour les émetteurs dans le même canal qui n'appartiennent pas au réseau synchronisé : 25 dB.
- (5) Rapport de protection pour les émetteurs dans le même canal qui n'appartiennent pas au réseau synchronisé : 40 dB.

RAPPORT 617*

CARACTERISTIQUES DES RECEPTEURS DE RADIODIFFUSION

SONORE ET DES ANTENNES DE RECEPTION

Principales caractéristiques pour les plans de fréquences

(Programme d'études 36A/10)

(1974)

1. Introduction

Un grand nombre des caractéristiques des récepteurs de radiodiffusion sonore et des antennes de réception peuvent être définies en même temps que les méthodes de mesure et les valeurs limites mais, seules, celles qui peuvent être utiles pour les problèmes de planification des fréquences sont à traiter par le C.C.I.R. Certaines de ces caractéristiques ont été étudiées dans de nombreux Avis et Rapports (voir Avis 237-1, 239-1, 331-3, 332-3, 333, 334-2, 412-1, 413-3, 415, 416, 447, 448-1, 449-2; Rapports 184-2, 185-2, 186-2, 188-1, 189, 190-1, 192-1, 193-1, 298-3, 300-3, 302, 328, 330, 399-2, 405-2, 458-1, 459-1, 464-1). En raison des changements dans la conception des récepteurs, ces textes sont en grande partie périmés. En outre, certaines caractéristiques des récepteurs sont indiquées sous forme de valeurs maximales, moyennes et minimales pour toute une gamme de modèles.

Le présent Rapport traite des caractéristiques des récepteurs de radiodiffusion sonore et des antennes, qui peuvent être utiles pour les travaux de planification des fréquences; on y trouvera aussi des références dans les cas où les définitions, les méthodes de mesure et les valeurs limites sont étudiées par d'autres Organisations Internationales comme la CEI et le CISPR.

2. Catégories de récepteurs

Une conférence de planification doit prendre en considération la catégorie de récepteurs qui sera utilisée pour le système de radiodiffusion envisagé.

On propose donc que les données figurant dans le cadre du présent rapport ne relatent que des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques, pour des récepteurs représentatifs d'une bonne conception technique courante, pour le pays considéré. Cela tend à éviter une trop grande influence des caractéristiques extrêmes de certains récepteurs sur les futures normes de planification.

* Adopté à l'unanimité.

Un récepteur de référence pourrait ensuite être défini en tenant compte des valeurs moyennes.

3. Caractéristiques techniques

3.1 Antennes

Réception en modulation de fréquence

Les caractéristiques des antennes indiquées dans l'Avis 419 et le Rapport 122-2 concernent les antennes in situ. Il suffit d'indiquer la directivité, le gain et la protection par croisement de polarisation, pour des antennes essayées dans des conditions idéales.

Des définitions et des méthodes de mesure sont indiquées dans la Publication 138 de la CEI.

Réception en modulation d'amplitude

Aucune caractéristique n'a été proposée pour les antennes.

Note.— La Publication 315-1A de la CEI décrit des méthodes pour induire des signaux dans des antennes magnétiques, en vue de mesures sur des récepteurs à modulation d'amplitude et à modulation de fréquence.

3.2 Sélectivité

3.2.1 Bande passante et pente aux frontières

Définitions et méthodes de mesures

Pour la radiodiffusion en modulation d'amplitude : conforme à la Publication CEI 315-3 art. 15, 17, 18, 19 en fixant pour le paramètre "a" une valeur de 6 dB. Ceci concerne la méthode à un seul signal, dont les résultats peuvent être facilement convertis, graphiquement ou par le calcul, en rapport de protection RF (voir art. 3.4) à partir de la méthode à deux signaux décrite dans le Rapport 399-2.

Une méthode à deux signaux est également citée dans la Publication CEI 315-3, article 16.

Pour la radiodiffusion en modulation de fréquence dans la bande 8 (ondes métriques) : conforme à la Publication CEI 315-4*art.

* La Publication 315-4 de la CEI est en cours de préparation.

3.2.2 Affaiblissement sur la fréquence intermédiaire

Cette caractéristique est prise en considération pour la radiodiffusion en modulation d'amplitude.

Définition : conforme à la Publication de la CEI 315.3 art. 24.

Méthode de mesure

Méthode à un signal décrite à l'article 25 de la même Publication.

Présentation des résultats

A partir des courbes obtenues selon l'article 27 de la même Publication, on retient seulement la valeur la plus défavorable dans chacune des bandes de radiodiffusion.

3.2.3 Affaiblissement sur la fréquence conjuguée

Définition : conforme aux Publications CEI 315.3 pour la modulation d'amplitude et 315-4* pour la modulation de fréquence.

Méthodes de mesure

Conforme aux Publications CEI 315.3 (méthode à un seul signal) pour la modulation d'amplitude.

Pour la radiodiffusion à modulation de fréquence dans la bande 8 (ondes métriques), il convient d'utiliser une méthode à deux signaux, comme décrite à la Publication 315-4* de la CEI.

Présentation des résultats

A partir de courbes obtenues selon la Publication CEI 315.3 et la Publication CEI 315-4* on retient la valeur la plus défavorable pour chacune des bandes de radiodiffusion.

3.2.4 Valeurs de fréquences intermédiaires

Les principaux facteurs qui déterminent les brouillages dans les récepteurs sont : les affaiblissements sur la fréquence intermédiaire, la fréquence conjuguée, la production d'harmoniques de la fréquence intermédiaire et de l'oscillateur.

Il est donc nécessaire de choisir correctement la valeur de la fréquence intermédiaire pour réduire ces risques de brouillages sans augmentation excessive du coût des récepteurs.

* La Publication 315-4 de la CEI est en cours de préparation.

Récepteurs à modulation d'amplitude

Aucune valeur unique de fréquence intermédiaire ne peut actuellement donner satisfaction dans l'ensemble de la Zone Européenne.

Cependant des études ont montré que lors de l'établissement d'un plan de fréquence pour une zone étendue, deux valeurs de fréquence intermédiaire peuvent être recommandées pour réduire les brouillages sans compromettre l'utilisation de tous les canaux disponibles.

Enfin toute disposition future doit nécessairement tenir compte de la compatibilité avec les récepteurs existants.

Le Doc. 10/273 (France), 1970-1974, donne dans son Annexe II des indications complémentaires sur la détermination de la fréquence intermédiaire (voir les Doc. 10/186 (Royaume-Uni), et 10/272, 10/273, 10/274, 10/275, 10/276, 10/277 (France), 1970-1974).

Le tableau ci-après donne quelques valeurs de fréquences intermédiaires actuellement utilisées. Il devrait être complété.

Pays	Position de l'oscillateur	Fréquences intermédiaires (kHz)			Observations
		1	2	3	
France	Supradyne	455	480	-	
Royaume-Uni	Supradyne	460	-	-	
République Démocratique Allemande	Supradyne	455	468	-	
Japon	Supradyne	455			

En outre, il faut signaler que le Rapport 458-1 propose que la valeur de la fréquence intermédiaire soit un multiple entier de l'écartement des porteuses.

Récepteurs à modulation de fréquence

Pour ces récepteurs, la valeur de 10,7 MHz est habituellement utilisée pour la fréquence intermédiaire.

3.3 Sensibilité

3.3.1 Définition

Pour la planification le mot sensibilité désigne "la sensibilité maximale utilisable". On entend par là, la sensibilité limitée par le bruit telle qu'elle est définie dans la Publication 315.3 pour la modulation d'amplitude et la Publication CEI 315.4* pour la modulation de fréquence. La définition du rapport signal audiofréquence/bruit est donnée dans la Publication 315.3 article 72.

Cette sensibilité doit être indiquée comme une valeur moyenne, unique pour chaque bande de radiodiffusion sonore, à partir de laquelle on peut calculer le champ minimal utilisable.

D'autres facteurs de limitation peuvent avoir de l'importance, par exemple les parasites impulsifs, le bruit galactique, les parasites atmosphériques, les parasites artificiels, etc... selon l'emplacement et le type d'antenne de réception.

3.3.2 Conditions de mesure

Conformes aux Publications CEI 315.3 art. 76 et 77 pour la MA et 315.4* pour la modulation de fréquence.

Aucune valeur du rapport signal/bruit n'est normalisée pour le moment, mais on peut le choisir pour le type de récepteur considéré.

Les valeurs suivantes sont suggérées :

- rapport signal audiofréquence/bruit : 26 dB pour la MA
30 dB pour la MF
- puissance de sortie : 50 mW.

3.4 Rapport de protection en radiofréquence

Le rapport de protection**, en radiofréquence, en tant que paramètre utile à la planification des fréquences, est défini comme le rapport entre le signal utile et le signal brouilleur à l'entrée du récepteur, produisant une certaine dégradation du son. Il dépend, entre autres choses, de la nature du signal utile (caractéristiques de modulation, excursion de fréquence, etc..), du type de signal brouilleur (MA, MF, ondes entretenues, etc..) et de l'écart entre les fréquences considérées. Les valeurs de ces rapports doivent être présentées sous forme de graphiques indiquant le rapport de protection pour un brouillage

* La Publication 315-4 de la CEI est en cours de préparation.

** Voir l'Avis 447 pour la modulation d'amplitude et l'Avis 412-1 pour la modulation de fréquence.

auquel est attribuée la note 4*, c'est-à-dire perceptible mais non gênant, en fonction de l'écart de fréquence entre les signaux utile et brouilleur, pour chaque type de brouilleur. Il convient d'indiquer si ce rapport de protection dépend du niveau du signal utile (en raison de la non-linéarité des étages d'entrée des récepteurs). En outre, pour la planification, les valeurs du rapport de protection pour une dégradation de la note 4*, peuvent être modifiées si on veut tenir compte des pourcentages de temps pendant lequel cette dégradation peut être supportable. A cet égard, il serait utile d'avoir des observations supplémentaires pour plusieurs niveaux de dégradation.

Les termes "champ utilisable" et "zone de service" sont définis dans l'Avis 499.

Récepteurs à modulation de fréquence

Les graphiques des rapports de protection aux fréquences radio-électriques devraient couvrir les écarts de fréquence de zéro à 400 kHz au-dessus et au-dessous de la fréquence du signal utile.

Il convient de noter que le rapport de protection n'a de relation directe avec le niveau de dégradation qu'en cas de fonctionnement linéaire. Par exemple, si une élévation de 6 dB du niveau du signal brouilleur dans le même canal peut donner une évaluation de la dégradation numériquement inférieure d'un échelon, une élévation semblable du niveau du signal brouilleur dans un canal adjacent peut diminuer la note de dégradation de plus d'un échelon. Pour convertir un rapport de protection fondé sur la note 4* en rapport de protection pour une note plus basse, il est nécessaire de définir cette relation. On peut y parvenir en faisant les observations à des niveaux de dégradation autres que ceux qui correspondent à la note 4.

Récepteurs à modulation d'amplitude

Le rapport de protection en radiofréquence pour les récepteurs MA avec antenne extérieure est défini en fonction du rapport signal utile/signal brouilleur aux bornes d'entrée du récepteur. Toutefois, pour les récepteurs à antenne magnétique incorporée, il est plus commode d'exprimer le rapport de protection en fonction du rapport champ utile/champ brouilleur, produisant un niveau déterminé de dégradation du son. Le rapport de protection dépend, entre autres choses du taux de modulation, du contenu audiofréquence des deux signaux, de la limitation éventuelle de la largeur de bande audiofréquence, de la compression à l'émetteur, et de l'écart de fréquence entre signaux utile et brouilleur. Les valeurs du rapport de protection pour une dégradation ayant la note 4* doivent être présentées sous forme graphique, et il convient d'indiquer la relation entre ces valeurs et les écarts de fréquence compris entre zéro et 3 ou 4 fois la largeur du canal.

Dans certains cas, on dispose de méthodes objectives offrant une bonne concordance avec les observations subjectives (voir le Rapport 298-3 et le Rapport 399-2).

* Voir le Rapport 623.

3.5 Fréquence de l'oscillateur

La valeur de la fréquence de l'oscillateur, par rapport à celle du signal utile, doit être désignée par les termes infradyne ou supradyne. Il faut aussi indiquer la tolérance de l'accord, c'est-à-dire les limites entre lesquelles le récepteur peut être désaccordé, la qualité restant acceptable.

3.6 Brouillages dus aux récepteurs

Le rayonnement de l'oscillateur sur sa fréquence fondamentale et sur ses harmoniques d'une part, et de la fréquence intermédiaire et de ses harmoniques d'autre part doit être réduit, conformément à la Recommandation N° 24 du CISPR (voir CEI/CISPR Publication N° 7, Genève).

RAPPORT 618*

DEFINITIONS DU RAYONNEMENT DANS LES BANDES 5 (ONDES KILOMETRIQUES)
ET 6 (ONDES HECTOMETRIQUES)

(1974)

Les plans d'assignation de fréquences dans les bandes 5 (ondes kilométriques) et 6 (ondes hectométriques) pour la Zone européenne de radio-diffusion (Copenhague, 1948) et pour la Zone africaine de radiodiffusion (Genève, 1966) sont basés sur la puissance porteuse fournie à l'antenne par l'émetteur. Il n'est pas possible de déterminer les brouillages à l'aide de cette valeur, à moins de connaître également les caractéristiques de rayonnement et le rendement des antennes et des lignes d'alimentation.

Deux notions peuvent être utilisées pour caractériser ce rayonnement :

- la force cymomotrice (f.c.m.)
- la puissance apparente rayonnée sur antenne verticale courte (p.a.r.v.).

1. Force cymomotrice

1.1 Définition

Force cymomotrice (dans une direction donnée)

Produit du champ électrique en un point donné de l'espace créé par une station d'émission, par la distance de ce point à l'antenne. Cette distance doit être suffisante pour que les composantes réactives du champ soient négligeables, et on suppose que la propagation n'est pas affectée par la conductivité finie du sol.

La f.c.m. est un vecteur dont on peut considérer, le cas échéant, les composantes selon deux axes perpendiculaires à la direction de propagation.

La f.c.m. s'exprime en volt, par le même nombre que le champ électrique en mV/m à 1 km.

* Adopté à l'unanimité.

1.2 Détermination de la f.c.m.

1.2.1 Antenne verticale : Pour les antennes verticales existantes, la f.c.m. dans une direction horizontale peut être obtenue par plusieurs mesures de champ effectuées à une distance comprise entre 2λ et 15λ , où λ est la plus grande des deux quantités suivantes : longueur d'onde ou dimension maximale de l'antenne : cela pour éviter la zone de champ stationnaire. On porte sur un graphique le produit $E \times d$, où E est le champ à la distance d . On extrapole alors la courbe moyenne obtenue jusqu'à $d = 0$, et le produit $E_0 d_0$ donne la f.c.m.

Pour un pylône unique, il est préférable de prendre la moyenne des valeurs obtenues pour quelques rayons. Pour une antenne à plusieurs pylônes, des mesures séparées doivent être faites pour divers rayons afin d'obtenir la f.c.m. en fonction de la direction.

Pour les sites au-dessus de l'horizon, on peut calculer théoriquement la correction à partir du diagramme sur un sol plan et parfaitement conducteur. On peut également effectuer des mesures de champ en hélicoptère.

Pour des antennes en projet, ou bien si pour d'autres raisons, il n'est pas possible d'effectuer des mesures valables, la f.c.m. peut être estimée en calculant les diagrammes de rayonnement sur un sol parfait et en déterminant le rendement probable de l'antenne.

1.2.2 Antenne à doublets horizontaux : Dans ce cas, la méthode la plus pratique est le calcul des diagrammes sur un sol parfaitement conducteur, en supposant que la puissance rayonnée est la puissance de l'émetteur, diminuée des pertes dans la ligne d'alimentation. On obtient la f.c.m. en faisant la somme quadratique des deux composantes orthogonales du champ, perpendiculaires à la direction de propagation.

1.3 Expression de la puissance d'alimentation de l'antenne en fonction de la f.c.m.

Dans le cas d'une antenne constituée d'un pylône vertical unique et en l'absence de perte, on a :

$$P = (F_c / 300)^2 \cdot (1/g_e)$$

P : Puissance d'alimentation en kW

F_c : Force cymomotrice dans la direction horizontale en volt

g_e : Gain en puissance de l'antenne par rapport à l'antenne verticale élémentaire.

D'une façon générale, la puissance totale rayonnée dans l'espace (c'est-à-dire la puissance à fournir à l'antenne si on néglige les pertes), est liée à la f.c.m. par :

$$W = \frac{1}{120\pi} \iint_{\text{sphère}} F_c^2(\phi, \theta) \cos\theta d\theta d\phi$$

où $F_c(\phi, \theta)$ est la f.c.m. dans chaque direction en fonction de l'azimut ϕ et de l'angle de site θ . (W est en watts et F_c est en volts.)

2. Puissance apparente rayonnée sur antenne verticale courte

2.1 Définition

Puissance d'alimentation d'une antenne, multipliée par son gain dans une direction donnée par rapport à une antenne verticale courte dans la direction horizontale.

Le Règlement des radiocommunications (N° 102) définit le gain par rapport à une antenne verticale courte, comme suit :

Gain (G_v) d'une antenne dans une direction donnée, lorsque l'antenne de référence est une antenne verticale parfaite, beaucoup plus courte que le quart d'onde, placée à la surface d'une terre plane parfaitement conductrice.

L'antenne de référence, alimentée avec 1 kW, produit un champ de 300 mV/m à 1 km, et est utilisée pour les courbes de propagation de l'onde de sol dans l'Avis 368-2 et dans celles de l'onde ionosphérique du Rapport 264-3.

2.2 Détermination de la puissance apparente rayonnée sur antenne verticale courte :

Pour une antenne verticale, cette puissance apparente est mesurée ou déterminée de la façon décrite au § 1.2 pour la f.c.m.

3. Relation entre f.c.m. et p.a.r.v.

La valeur de la puissance apparente est liée à la force cymomotrice (en volts) par la formule :

$$\text{p.a.r.v.} = (\text{f.c.m.}/300)^2 \quad (\text{kW})$$

Le tableau ci-après donne quelques exemples pratiques de correspondance entre f.c.m. et p.a.r.v. en l'absence de perte.

Puissance émetteur (kW)	Antenne	Gain/antenne verticale courte (dB)	f.c.m. (V)	f.c.m. (dB(300V))	p.a.r.v. (kW)
0,01	} verticale courte	0	30	-20	0,01
0,1		0	95	-10	0,1
1		0	300	0	1
10		0	950	+10	10
100	} antenne $\lambda/2$	2	3 800	+22	160
300		2	6 600	+27	475
1 000		2	12 000	+32	1 600

4. Utilisation des courbes de propagation

Les courbes de propagation par onde de sol (Avis 368-2) et par onde ionosphérique (Rapport 264-3) sont établies pour un champ de 300 mV/m à 1 km, c'est-à-dire à une f.c.m. de 300 V. Toutefois, les courbes pour l'onde ionosphérique ont été établies en appliquant une correction tenant compte du diagramme vertical de l'antenne sur un bon sol, mais aucune correction n'a été utilisée pour tenir compte de la conductivité finie du sol. Ces courbes, par suite, comprennent l'effet d'une conductivité moyenne qui, si on le compare avec le cas d'un sol parfaitement conducteur, entraîne une réduction substantielle de l'onde ionosphérique pour les angles de site faibles. Cet effet est discuté dans le Rapport 401-2. On peut montrer que pour tous les types d'antenne verticale utilisables en ondes kilométriques et ondes hectométriques, l'effet du sol est presque indépendant du type d'antenne et le diagramme vertical peut être déterminé avec une bonne approximation en corrigeant celui calculé sur un sol plat et parfaitement conducteur.

La pratique est déjà établie de rapporter les courbes de propagation à une puissance rayonnée sur antenne verticale courte de 1 kW et cela correspond à une f.c.m. dans la direction horizontale de 0 dB par rapport à 300 V.
