

## RAPPORT 401-6

## ANTENNES D'ÉMISSION EN RADIODIFFUSION (B.km et B.hm)

(Question 44/10, Programme d'études 44G/10)

(1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990)

**1. Antennes à rayonnement vertical réduit**

Une antenne anti-évanouissement et à grande efficacité doit être construite en sections fractionnées et avoir une hauteur électrique totale de  $2\lambda/3$  à  $\lambda$  pour obtenir une croissance rapide du champ de l'onde ionosphérique, près du point où il est égal à celui de l'onde de sol. 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 (celle du système au sol comprise)**

[CCIR, 1970-74a] 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.

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. L'accroissement qui correspond au remplacement du sol réel par la mer est considéré comme un gain dû à la mer.

[CCIR, 1966-69a] donne les résultats de mesures 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 1400 km. Les émissions de Rome sur 845 kHz ont été mesurées simultanément en divers points sur la côte et à l'intérieur des terres, le long d'un trajet pénétrant à 100 km à l'intérieur, 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 en valeurs relatives les champs mesurés à l'intérieur des terres, B à K, et sur la côte, A.

On conclut que pour une émission en ondes hectométriques (bande 6), le rayonnement ionosphérique 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. Pour de plus amples renseignements, on se reportera à la Recommandation 435.

L'Italie [CCIR, 1966-69b] et l'URSS [CCIR, 1970-74b] ont présenté un rapport sur les mesures de l'incidence du "gain dû à la mer" dans les domaines des ondes kilométriques (bande 5) et hectométriques (bande 6). Les résultats sont conformes aux valeurs théoriques calculées.

Des études faites en Italie [CCIR, 1982-86a] ont montré l'influence combinée d'un sol de conductivité finie et d'un réseau de terre sur le diagramme de rayonnement vertical ionosphérique d'antennes d'émission en ondes hectométriques. En utilisant une procédure de calcul par ordinateur, on a obtenu un facteur de correction à appliquer au diagramme de rayonnement d'une antenne verticale simple au-dessus d'un sol plat et parfaitement conducteur.

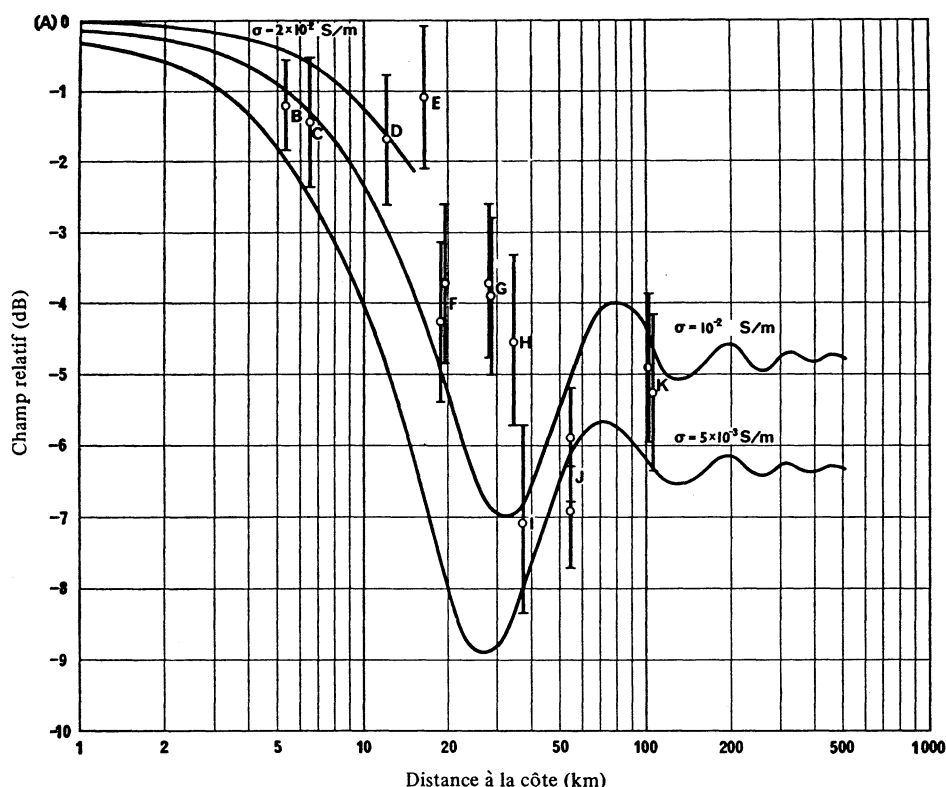


FIGURE 1 - Pertes théoriques et mesurées dues au sol

————— : pertes théoriques dues au sol

○ : pertes mesurées

(Les lignes verticales indiquent les marges d'erreur)

La Fig. 1 montre que les pertes dues au sol varient avec la distance à la côte, à la fréquence 845 kHz, pour un angle d'arrivée de  $4^\circ$  environ, et donne les courbes théoriques pour des sols de conductivité de  $5 \times 10^{-3}$  S/m et  $10^{-2}$  S/m qui semblent être les valeurs extrêmes de la conductivité dans la région considérée. On a aussi représenté une partie de la courbe théorique pour  $2 \times 10^{-2}$  S/m, car on savait que les 10 premiers kilomètres du trajet terrestre présentaient à peu près cette conductivité. La Fig. 1 prouve nettement l'importance de l'affaiblissement à des emplacements nettement éloignés des côtes.

### 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, il se peut que le prix d'une antenne simple représente une partie relativement faible de la dépense totale.

#### 3.1 Antennes anti-évanouissement en ondes kilométriques

4.2 [CCIR, 1966-69c] 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 cinq éléments verticaux de 200 m également répartis sur un cercle de 630 m ( $0,4 \lambda$ ). Les mesures du champ à des distances supérieures à 300 km montrent que la zone sans distorsion d'évanouissement a augmenté substantiellement.

### 3.2 Antennes anti-évanouissement en ondes hectométriques

[CCIR, 1970-74c] 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 ( $\lambda/4$ ) étant reliée galvaniquement au pylône par son extrémité supérieure et isolée à l'extrémité inférieure (voir Fig. 2).

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.

[CCIR, 1970-74d] signale l'existence à Lille-Camphin d'une antenne de radiodiffusion en ondes hectométriques à grand gain, sur 1376 kHz. Cette antenne, du type « en onde entière », est conçue pour 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].

[CCIR, 1970-74e] 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 la 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.

### 3.3 Antennes directives en ondes hectométriques

[CCIR, 1970-74f] décrit une antenne d'émission commutable permettant d'obtenir un service optimal pour le jour et pour la nuit dans la bande 6 (ondes hectométriques). Deux antennes de ce type étaient en service dans deux stations de radiodiffusion (Ismaning, 1602 kHz et Langenberg, 1586 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. Une combinaison judicieuse de ces éléments permet une amélioration de 3 à 10 dB du rapport signal/brouillage en radiofréquence dans le même canal.

[CCIR, 1974-78a] décrit une antenne directive en bande 6 (ondes hectométriques), avec commande du diagramme de rayonnement dans le plan horizontal [Timonina, 1971].

Cette antenne se compose de 4 éléments rayonnants placés aux quatre coins d'un carré de côté  $D$ . Deux des éléments rayonnants sont alimentés tandis que les deux autres sont des réflecteurs passifs, accordés au moyen d'un adaptateur en court-circuit. Le diagramme de rayonnement peut être commandé dans le plan horizontal de 0 à 360°. On peut modifier la direction du rayonnement maximal par pas de 90°. Lorsque  $D$  est compris entre  $0,25 \lambda$  et  $0,28 \lambda$ , le rayonnement vers l'arrière est compris entre  $-18$  et  $-20$  dB par rapport au rayonnement dans le faisceau principal, alors que dans un secteur angulaire de 100°, ce rayonnement est en moyenne d'environ  $-14$  dB.

Une antenne à quatre pylônes, avec régulation de la répartition des courants [Biélousov 1974; Biélousov et autres, 1976], d'une hauteur  $H = \lambda$  et pour  $D = 0,28 \lambda$ , a un gain de 10 dB lorsqu'elle est réglée de façon à obtenir un rayonnement maximal dans la direction avant.

[CCIR, 1974-78b] traite d'un article qui a été publié [Lacharnay, 1976] et qui décrit diverses antennes directives à pylônes verticaux, pour la radiodiffusion en ondes hectométriques et ondes kilométriques, caractérisées par un rayonnement très réduit dans de larges secteurs angulaires, en site et en azimut. De telles antennes permettent de réduire les brouillages dans un domaine où l'éther est déjà plus que saturé. Des réalisations pratiques sont décrites, et on indique la limite des affaiblissements que l'on peut obtenir (30 dB actuellement) ainsi que la stabilité des réglages dans le temps, vérifiée sur plusieurs années.

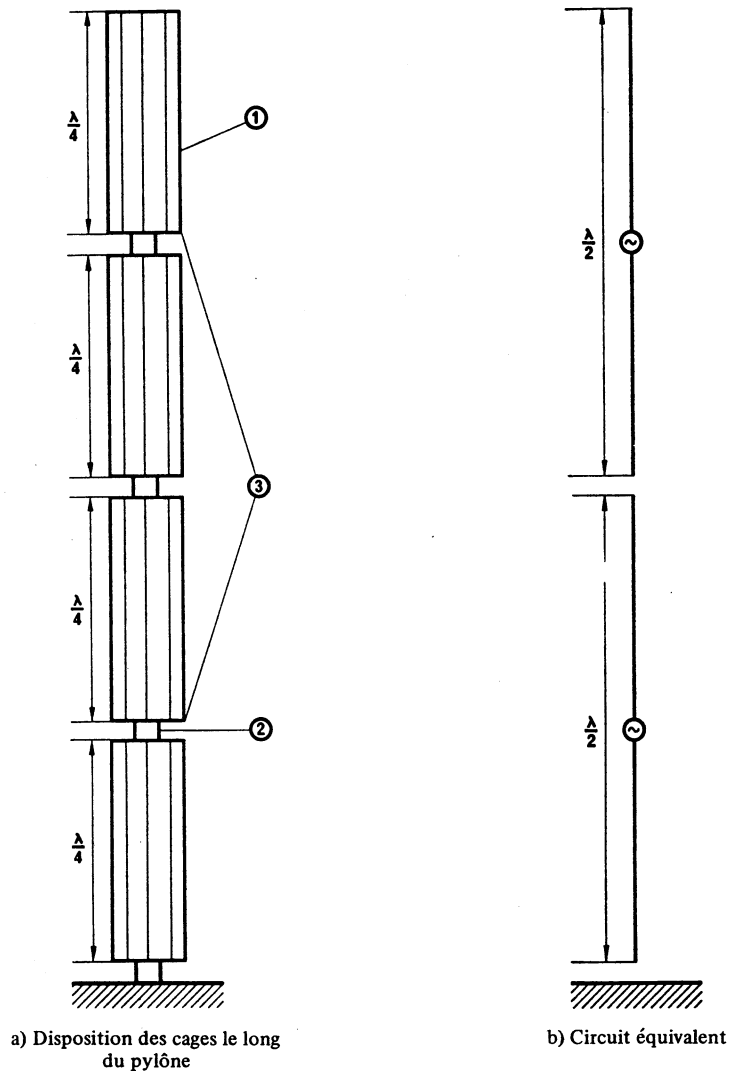


FIGURE 2 - Antenne cage à deux demi-ondes

#### 4. Méthodes de prévision des effets de rerayonnements

Le problème des effets de rerayonnements à partir de structures telles que des lignes de transmission d'énergie électrique, des pylônes métalliques, des bâtiments ayant une structure métallique et des installations métalliques enterrées revêt une certaine gravité étant donné que ces structures peuvent modifier le schéma de rayonnement désiré. L'élimination de ces effets peu souhaitables est étroitement liée à la connaissance de la répartition des courants le long de la structure de l'antenne, dans un environnement comportant des structures comme celles qui viennent d'être décrites.

Plusieurs méthodes permettant de déterminer la répartition des courants le long de la structure de l'antenne ont été signalées. Une méthode simple, dite "méthode d'adaptation des points", variante de la "méthode des moments" [Harrington, 1968] a été développée en Yougoslavie [Popovic, 1970] et utilisée avec succès pour le traitement des applications de ce type [Surutka et Mitic, 1975].

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BIELOUSOV, S. P. [1974] Srednevolnovyye anteny s regulirujemym raspredelenijem toka (Antenne hectométrique à régulation de la répartition de courant). *Sviazizdat*.
- BIELOUSOV, S. P., KOUZNETSOV, V. D. et TIMONINA, V. I. [1976] Srednevolnovyye antifedingovaya antenna s zazemlennym osnovaniyem ARRTZ-2 (Antenne anti-évanouissement au sol ARRTZ-2). *Elektrosviaz*, 2, 40-46.
- HARRINGTON, R. F. [1968] - Field computation by moment methods (McMillan, New York).
- LACHARNAY, S. [1969] Nouvelle antenne hectométrique à grand gain à l'émetteur de radiodiffusion de Lille-Camphin (antenne à jupe). *Rev. Française de Radiodif. et de Télév.*, 11.
- LACHARNAY, S. [septembre-octobre 1976] Antennes directives pour la radiodiffusion en ondes kilométriques et ondes hectométriques. *Radiodif.-Télév.*, 44-4/5, 1 à 11.
- POPOVIC, B. D. [mai 1970] - Polynomial approximation of current along thin symmetrical dipoles, *Proc. IEE*, Vol. 117, N° 5, p. 873.
- SURUTKA, J. V. et MITIC, D. N. [1975] - The field strength in the near field zone of the antennas of high-power MF/LF transmitters, *Proceedings of the XIX Yugoslav Conference of Electronics, Telecommunications, Automation and Nuclear Engineering, Ohrid (Yougoslavie)*.
- TIMONINA, V. I. [1971] Srednevolnovaya napravlennaya antennaya sistema upravljajmoy diagrammoi napravlennosti v gorizontальной plosnosti (Antenne directive (ondes hectométriques) avec commande du diagramme de rayonnement dans le plan horizontal). *Radiotekhnika*, Vol. 26, 1, 17-25.

## Documents du CCIR

- [1966-69]: a. X/143 (Royaume-Uni); b. X/31 (Italie); c. X/190 (Suède).
- [1970-74]: a. 10/188 (Royaume-Uni); b. 10/294 (URSS); c. 10/62 (Pologne (République populaire de)); d. 10/73 (France); e. 10/292 (URSS), f. 10/28 (Allemagne (République fédérale d')).
- [1974-78]: a. 10/108 (URSS); b. 10/272 (France).
- [1982-86]: a. 10/49 (Italie).

## BIBLIOGRAPHIE

- AIZENBERG, G. Z., BIELOUSOV, S. P., LINDBERG, A. H. et JAMPOLSKIJ, W. S. [1961] Antifedingovaya antienna dlja radiowieszczanija. (Une antenne antifading pour la radiodiffusion). *Radiotekhnika*, 16, 12, 21-30.
- BEM, D. J. [1973] Antena klatkowa z ksztaltowana charakterystyka promieniowania w plaszczyznie pionowej. (Une antenne cage avec mise en forme du diagramme de rayonnement vertical). *Prace Instytutu Łączności*, XX, 1(69).
- BIELOUSOV, S. P. [1967] Srednevolnovyye antienny s regulirujemym raspredielenjem toka (Antenne à répartition du courant réglable, pour ondes hectométriques). *Viestnik Sviasi*, 8.
- CCIR [1978] Diagrammes d'antennes.
- CLEMMOV, P. C. [1953] Radio propagation over a flat earth across a boundary separating two different media. *Phil. Trans. Roy. 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. *Rev. de l'UER (Technique)*, 141.
- KNIGHT, P. et THODAY, R. D. C. [1969] Influence of the ground near transmitting and receiving aerials on the strength of medium-frequency sky-waves. *Proc. IEE*, 116, 6, 911-919.
- LACHARNAY, S. [1983] *Antennes pour la radiodiffusion*. 1<sup>re</sup> édition. Information Promotion Française, Paris, France.
- LACHARNAY S., FONTEYNE, J. et MASSUCI, M. [1978] Radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques. *Radiodif.-Télév.*, 1.
- MAGNUSSON, E. et STRANDEN, F. [juin 1960] Le projet de la nouvelle station d'émission en ondes longues de Motala. *Rev. de l'UER*, 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.*, 2, 261-286.
- MONTEATH, G. D. [1951] Application of the compensation theorem to certain radiation and propagation problems. *Proc. IEE*, 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. IEE*, Vol. 105, Partie C, 7, 292.
- PAGE, H. et MONTEATH, G. D. [mai 1955] The vertical radiation patterns of medium-wave broadcasting aerials. *Proc. IEE*, Vol. 102, Partie 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, III<sup>e</sup> trimestre.