

UNIVERSITÉ LAVAL,
Faculté des Sciences et de Génie,
Département de Génie Électrique,
LABORATOIRE de TĒLĒCOMMUNICATIONS.

RAPPORT FINAL

(1ère étape)

Conception d'un réseau d'antennes
en vue d'une application radiogoniométrique

par

Jules A. Cummins, Gilles Y. Delisle et Minh D. Le-Thi

pour

Gouvernement du Canada
Ministère des Communications, Ottawa

sous

Contrat OSU78-00244 du Ministère
des Approvisionnements et Services

Période du 27 octobre 1978 au 31 mars 1979

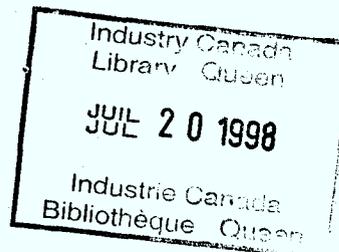
Mars 1979

Rapport n° LT-79-8230

P
91
C655
C85
1979

RAPPORT FINAL

(1ère étape)



CONCEPTION D'UN RESEAU D'ANTENNES
EN VUE D'UNE APPLICATION RADIOGONIOMETRIQUE

Par : Dr Jules A. Cummins, Chercheur principal
Dr Gilles Y. Delisle, Collaborateur
Minh D. Le-Thi, Ingénieur

Laboratoire de Télécommunications
Département de Génie Electrique
Université Laval, Québec, Canada G1K 7P4

Pour : Ministère des Communications, Ottawa
Contrat OSU78-00244 du Ministère des
Approvisionnements et Services

Durée : 27 octobre 1978 - 31 mars 1979

Mars 1979

Rapport n° LT-79-8230



Table des matières

Chapitre 1	INTRODUCTION	1.
	But du projet	
	Méthodologie	
Chapitre 2	NOTIONS THEORIQUES ET PRATIQUES ESSENTIELLES	3.
	Antenne-spirale	
	Circuit d'alimentation balancée	
Chapitre 3	RESULTATS	11.
Chapitre 4	CONCLUSIONS	29.
	Bibliographie	30.
Annexe A	Références bibliographiques	31.

Chapitre I

INTRODUCTION

Tel que formulé dans la proposition de contrat de recherche qui a donné naissance à ce contrat, il était prévu que le travail complet devait s'effectuer en deux étapes successives. Ce premier document constitue donc le rapport final pour la première étape seulement et il est entendu que la deuxième phase est nécessaire à l'élaboration et à l'exécution complète des travaux.

BUT DU PROJET

Le but principal et à long terme des recherches entreprises dans le cadre de ce projet est la réalisation d'un système de radiogoniométrie fonctionnant dans la région du spectre située entre 138 et 900 MHz. A court terme, nos recherches ont pour objectif immédiat la conception, la fabrication et l'évaluation d'un système d'antennes ayant les caractéristiques nécessaires pour la réalisation de l'objectif final.

METHODOLOGIE

Les caractéristiques les plus importantes que le réseau d'antennes et son circuit d'alimentation doivent posséder sont les suivantes :

- a) le diagramme de rayonnement doit avoir une symétrie de révolution autour d'un axe perpendiculaire au plan de la spirale;
- b) la largeur du lobe principal ne doit varier que très légèrement sur toute la plage des fréquences comprises entre 138 et 900 MHz; de plus, les variations doivent être connues pour qu'il soit possible d'en tenir compte dans le calcul de la direction d'arrivée du signal;

c) l'impédance d'entrée de chaque antenne doit rester à peu près constante sur la même plage de fréquences.

La première de ces caractéristiques dépend à la fois du circuit d'alimentation, qui doit être parfaitement balancée, et de la symétrie de construction de la spirale.

La seconde est inhérente au mode de radiation de l'antenne-spirale tel que décrit par Bawer et Wolfe [1]. La méthode de fabrication de la spirale qui fut utilisée est donnée au chapitre II.

La dernière caractéristique est affectée de façon considérable par le circuit d'alimentation balancée. L'influence de ce dernier circuit sur la performance globale de l'antenne est donc considérable. Pour cette raison, une description en est également donnée au chapitre II.

De plus, un programme de mesures a été élaboré pour évaluer la performance de l'assemblage complet : spirale, "balun" et cavité. Un choix représentatif des résultats obtenus est présenté au chapitre III. On y retrouvera les principales étapes expérimentales à savoir;

- a) conception et fabrication de l'antenne-spirale à deux brins sous forme de circuit imprimé;
- b) fabrication d'un circuit d'alimentation balancée à large bande (balun) avec vérification expérimentale;
- c) fabrication d'une cavité métallique dont les murs sont recouverts d'un matériel capable d'absorber les champs émis par la spirale vers l'intérieur de la cavité. Cette étape est nécessaire pour éliminer le lobe arrière de l'antenne-spirale;
- d) programme systématique de mesures ayant pour but de vérifier la forme des diagrammes de rayonnement, le taux d'ondes stationnaires et le gain du système.

Finalement, après avoir décrit les progrès réalisés dans les diverses étapes mentionnées plus haut, l'on tirera au chapitre IV les conclusions qui s'imposent et l'on donnera un aperçu des recherches envisagées pour la seconde phase du projet.

Chapitre II

NOTIONS THEORIQUES ET PRATIQUES ESSENTIELLES

On trouvera dans ce chapitre, une brève synthèse des concepts théoriques et pratiques sur lesquels les travaux s'appuient, particulièrement dans les cas de l'antenne-spirale et du circuit d'alimentation balancée.

Antenne-spirale

La spirale d'Archimède est une courbe plane définie par l'équation suivante :

$$r = a \psi e^{i\sigma}, \quad (2-1)$$

où r est la distance entre un point de la spirale et le centre, lorsque celui-ci est situé à l'origine des coordonnées, ψ est l'angle mesuré en radians, a est une constante qui contrôle le taux de croissance de la spirale,

et $\sigma = 0, \pi$ pour une spirale à deux brins.

Pour une première réalisation pratique, la spirale fut construite à l'aide d'une série de demi-cercles dont le rayon est donné par la relation suivante :

$$r = (2.5 + n) \text{ mm} \quad (2-2)$$

où $n = 0, 1, 2 \dots N$.

Ce procédé donne une approximation de la véritable spirale d'Archimède amplement suffisante pour les fins du projet.

L'antenne elle-même est fabriquée sur circuits imprimés à partir d'un dessin de la spirale tel qu'illustré à la Fig. 1.

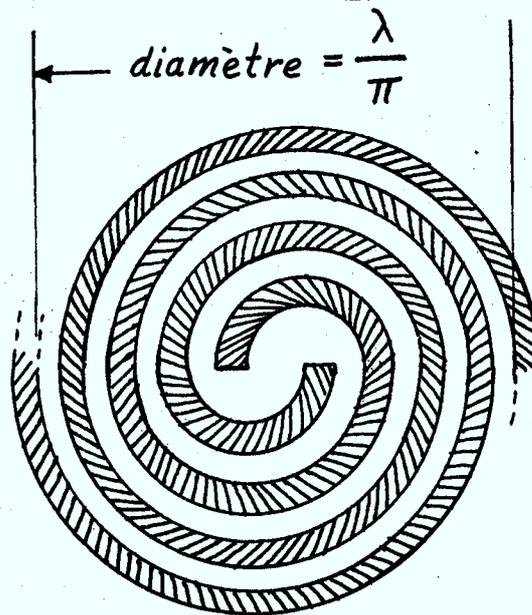


Figure 1: Construction de l'antenne-spirale à l'aide de demi-cercles.

Le diamètre supérieur de l'antenne doit être tel que la circonférence mesure une longueur d'onde à la fréquence la plus basse où l'on se propose de l'utiliser. Comme la spirale devait être fabriquée avec un facteur de réduction égal à quatre, cette fréquence inférieure correspond de fait à $(138 \times 4) = 542$ MHz. Toutefois, pour s'assurer d'un point d'opération moins critique que la limite absolue, l'antenne fut construite avec un diamètre de 22.7 cm, qui correspond à une fréquence limite de 420 MHz.

On s'accorde à reconnaître que la largeur des brins métalliques et leur espacement sont les moins critiques des paramètres de l'antenne [1]. Pour que l'antenne présente à son entrée une impédance constante en fonction de la fréquence, il faut que la structure soit auto-complémentaire [2]; pour cette raison l'antenne fut fabriquée de telle façon que la largeur des brins soit égale à leur espacement, soit 1 mm.

On trouvera aux figures 2 et 3, des photographies d'une des antennes-spirales qui a été réalisée au cours de nos travaux.

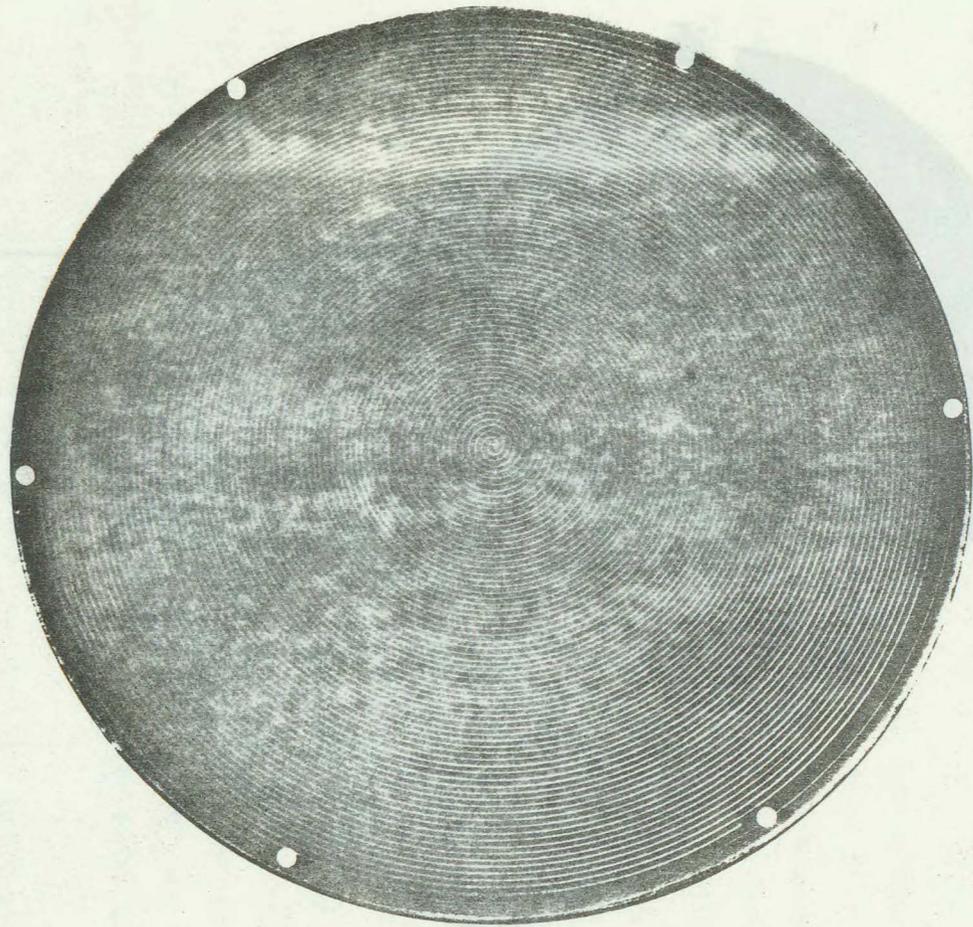


Figure 2: Réalisation pratique d'une antenne-spirale sur circuit imprimé (vue de face).

Figure 2: Antenna-spirale construite avec sa cavité métallique.

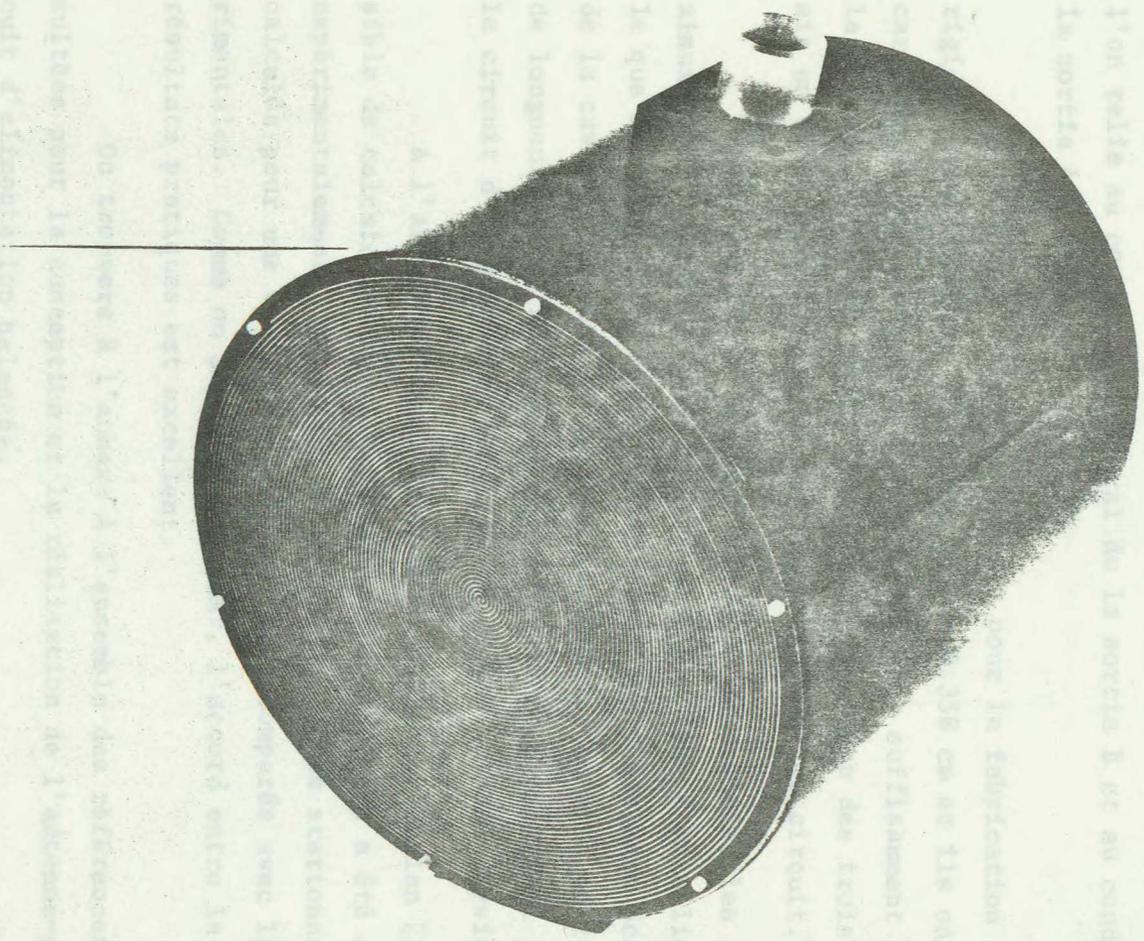


Figure 3: Antenne-spirale montrée avec sa cavité métallique.

Circuit d'alimentation balancée

Le circuit d'alimentation balancée employé pour les mesures qui furent effectuées sur l'antenne-spirale est celui qui est décrit par Phelan [3]. Il est constitué selon le schéma illustré à la Fig. 4 : le conducteur central du coaxial d'entrée est relié à la fois au conducteur central du câble de sortie A et au conducteur externe du câble de sortie B; ces connexions sont faites de façon inverse pour le conducteur externe du coaxial d'entrée que l'on relie au conducteur central de la sortie B et au conducteur externe de la sortie A.

Les câbles coaxiaux utilisés pour la fabrication sont de type semi-rigide. Leur diamètre extérieur est de 0.358 cm et ils ont une impédance caractéristique de 50 ohms. Ces câbles sont suffisamment petits pour que la discontinuité qui existe au point de jonction des trois câbles coaxiaux ait un effet minimal sur le bon fonctionnement du circuit.

Pour compléter la fabrication du dispositif, les trois câbles coaxiaux ainsi connectés sont insérés dans une cavité métallique de façon telle que le point de jonction soit situé à égale distance des deux extrémités de la cavité. On choisit cette distance pour qu'elle soit égale à un quart de longueur d'onde à la fréquence centrale d'utilisation. La Fig. 5 montre le circuit d'alimentation balancée qui a été réalisé physiquement.

A l'aide du circuit équivalent donné par Phelan [3], il a été possible de calculer la largeur de bande théorique qui a été ensuite vérifiée expérimentalement. A la Fig. 6, les taux d'ondes stationnaires théoriques, calculés pour une charge de 100 ohms, sont comparés avec les valeurs expérimentales. Comme on peut le constater, l'accord entre la théorie et les résultats pratiques est excellent.

On trouvera à l'annexe A l'ensemble des références qui ont été consultées pour la conception et la réalisation de l'antenne-spirale et du circuit d'alimentation balancée.

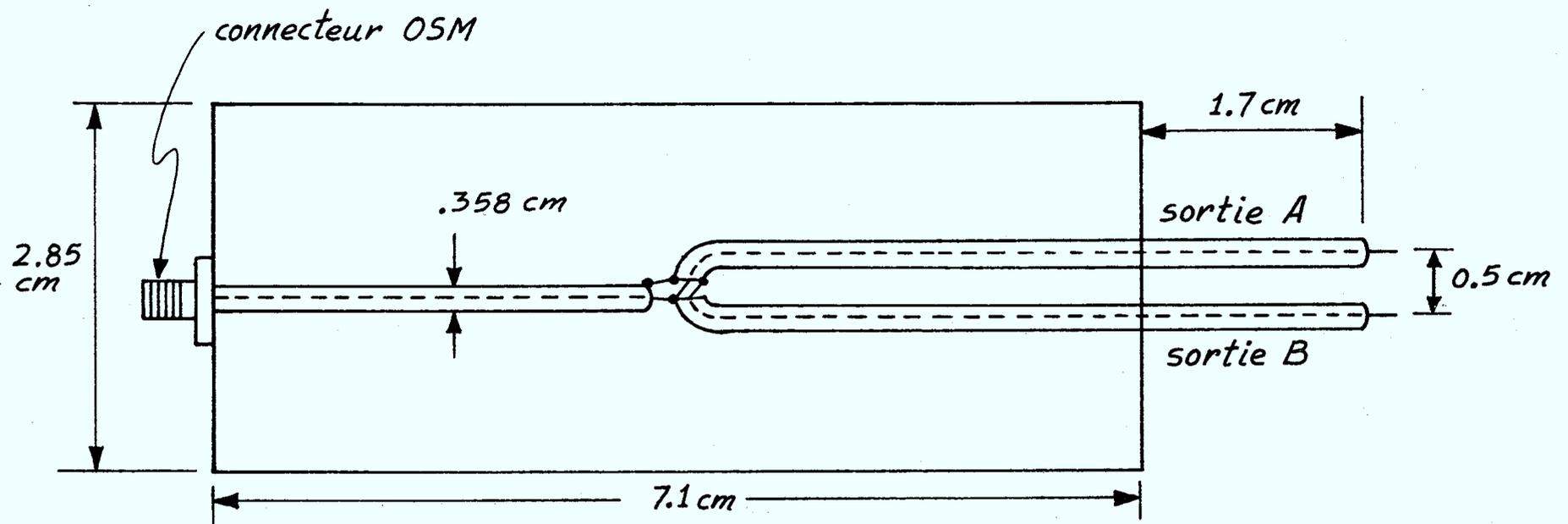


Figure 4: Schéma du circuit d'alimentation balancée (Source: H.R. Phelan [3]).

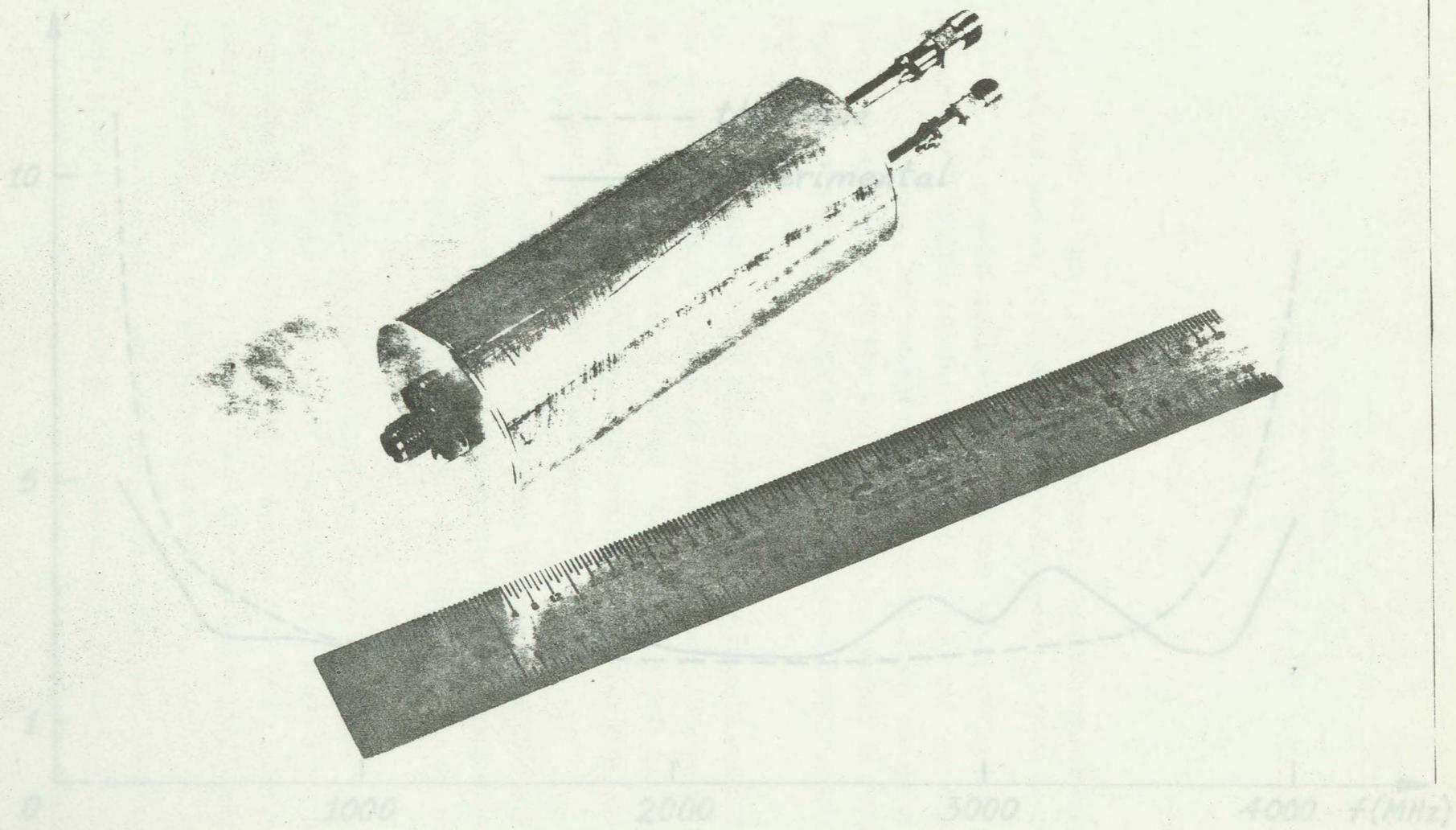


Figure 5: Valeurs d'ondes progressives du circuit d'alimentation balancée.
Values of waves of a balanced circuit.

Figure 5: Circuit d'alimentation balancée réalisé physiquement.

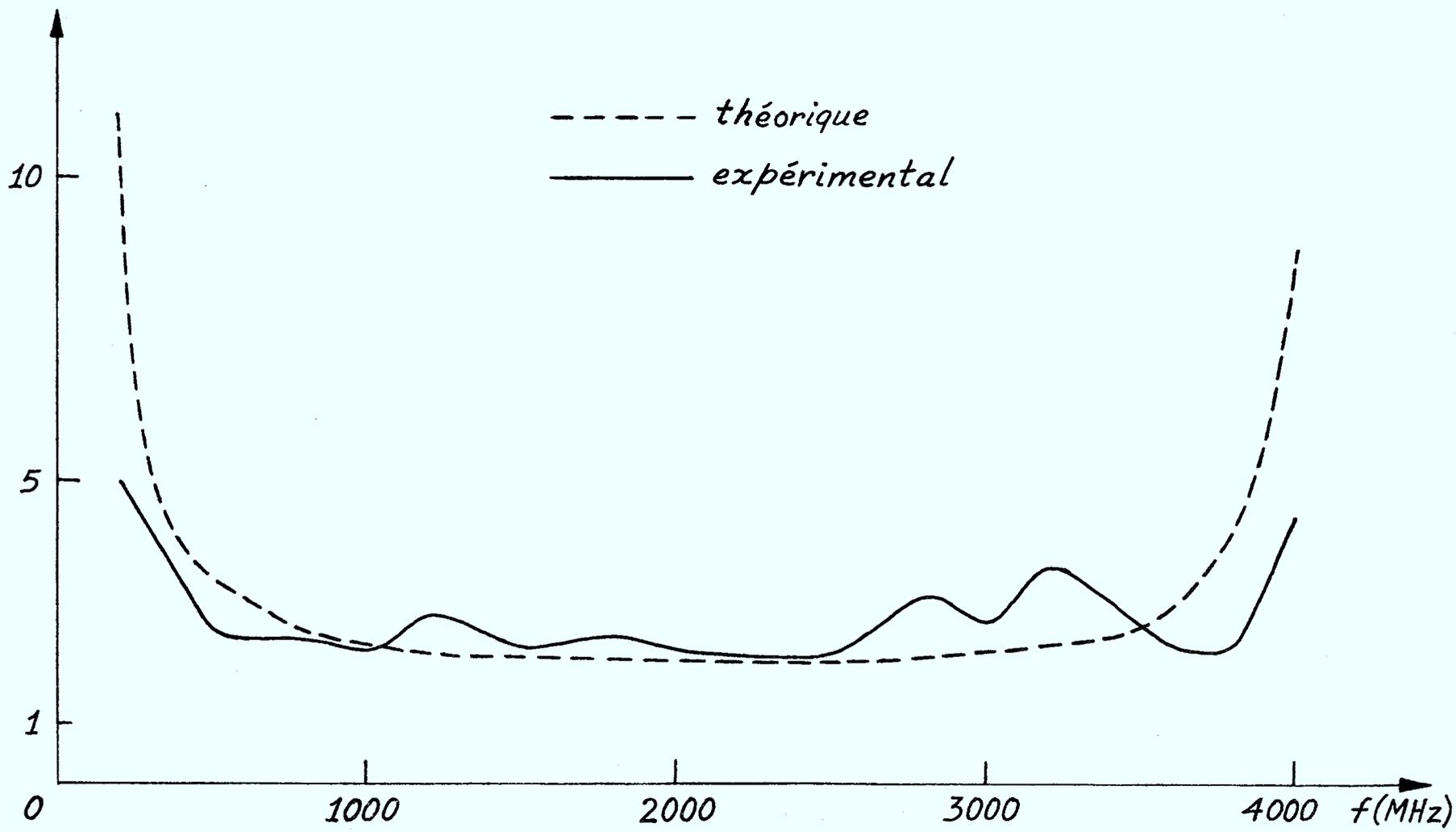


Figure 6: Taux d'ondes stationnaires du circuit d'alimentation balancée.
Valeurs théoriques et expérimentales.

Chapitre III

RESULTATS

Dans ce chapitre, nous présentons l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus au cours de la période couverte par ce contrat.

Les antennes utilisées pour le programme expérimental furent construites à échelle réduite par rapport à celles qui seront employées dans la pratique. Les mesures ont été effectuées sur une gamme de fréquence s'étendant de 500 MHz à 3.6 GHz, soit un rapport de fréquences légèrement supérieur à celui qui est requis pour l'application pratique (900/138).

Les mesures furent effectuées dans une chambre anéchoïque conçue de telle sorte qu'elle puisse simuler l'espace libre pour les signaux de fréquences supérieures à 500 MHz. Les signaux captés par l'antenne-spirale dont on veut mesurer un certain paramètre sont émis par une antenne logarithmique à très grande largeur de bande.

Les fluctuations du taux d'ondes stationnaires (T.O.S.), tel que mesuré à l'entrée du circuit d'alimentation balancée, apparaissent à la Fig. 7. A l'exception de quelques pointes, le T.O.S. est en général inférieur à 3.

La largeur du lobe principal en degrés est donnée à la Fig. 8, pour des variations de fréquences s'étendant de 500 MHz à 3.6 GHz. Pour construire ce graphique, il a été convenu de définir la largeur du lobe comme suit : l'écart, en degrés, dans l'un des plans principaux, où la radiation est de 3 dB inférieure au maximum.

Deux séries de mesures furent effectuées pour enregistrer, sous forme polaire, le diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale à sept fréquences différentes, échelonnées à peu près uniformément entre les

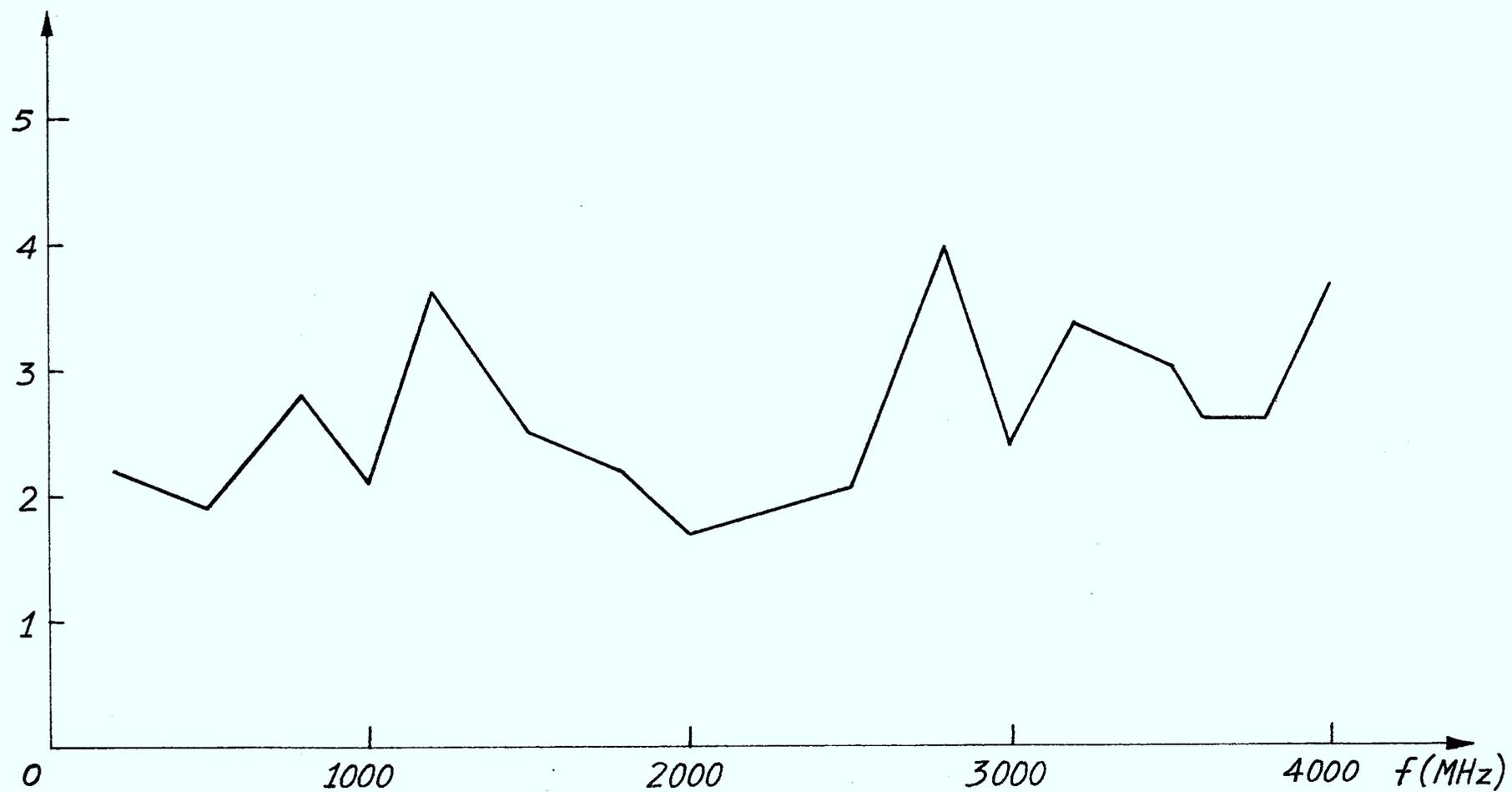


Figure 7: Taux d'ondes stationnaires de l'antenne-spirale.

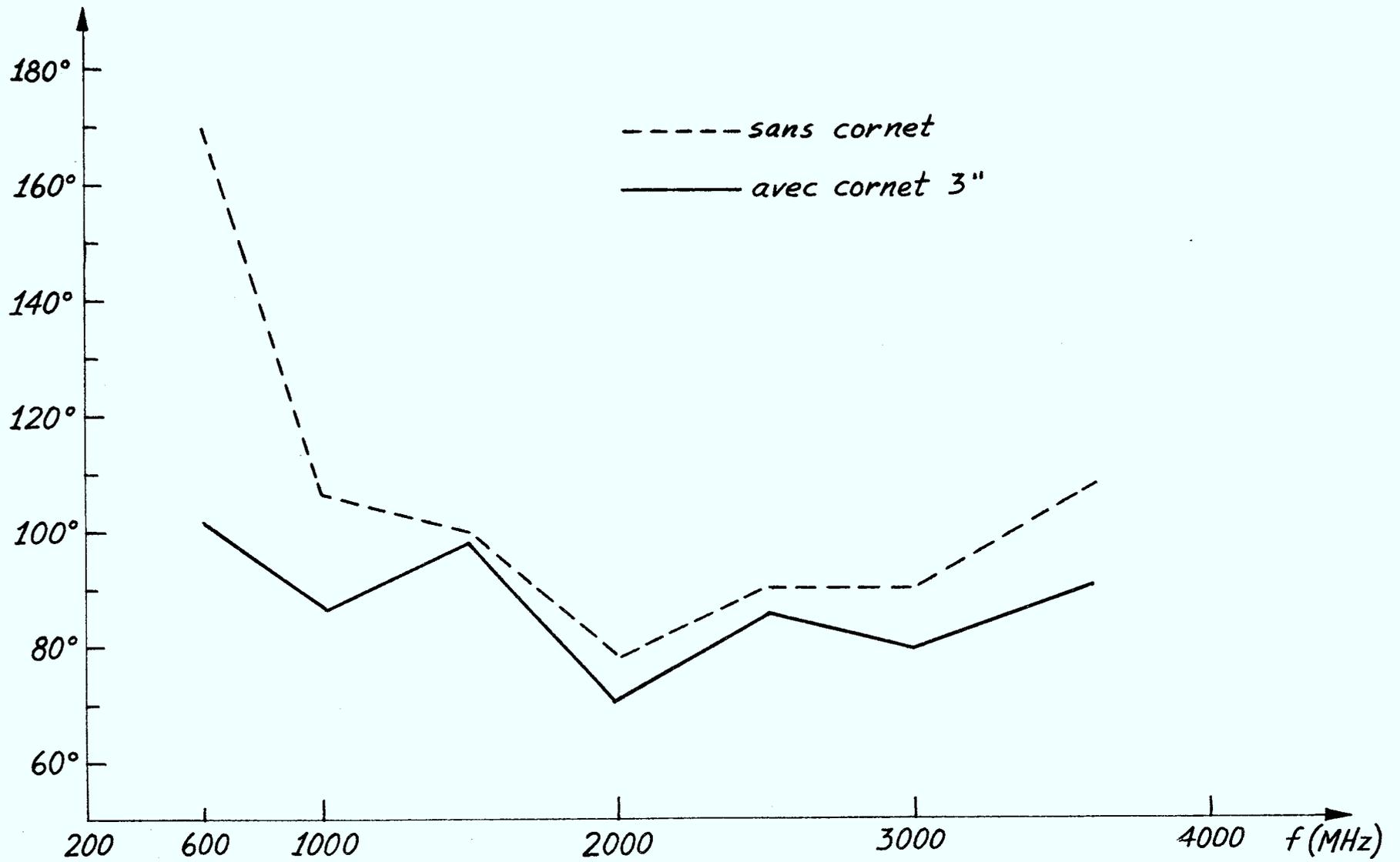


Figure 8: Largeur du lobe principal (en degrés) pour des variations de fréquences de 500 à 3600 MHz.

valeurs extrêmes de 500 MHz et de 3.6 GHz. Pour l'une des deux séries, la spirale était entourée d'un cône métallique de trois pouces de largeur formant un angle de 135 degrés avec le plan de l'antenne. Cette série de diagrammes de rayonnement apparaît sur les Fig. 9 à 15.

Pour l'autre série, le cornet ne fut pas utilisé et les diagrammes de rayonnement sont reproduits sur les Fig. 16 à 22.

La directivité D de l'antenne fut calculée à l'aide de la formule approchée de Jasik [4] :

$$D = \frac{27000}{\theta_H \theta_E} \quad (3-1)$$

où θ_E et θ_H sont les angles, en degrés, dans les plans E et H respectivement, où la puissance rayonnée est inférieure de 3 dB à la puissance maximale.

Pour l'antenne-spirale $\theta_E = \theta_H$. Les résultats obtenus sont donnés au tableau I pour diverses fréquences et pour les deux séries de mesures mentionnées plus haut, c'est-à-dire avec ou sans cornet.

f(MHz)	Sans cornet	Avec cornet
600	4.3	6.2
1000	6.3	7.2
1500	6.7	4.8
2000	7.9	10.7
2500	6.4	6.9
3000	6.2	7.4
3600	5.4	10.0

Tableau I. Comparaison des directivités obtenues sans et avec cornet pour l'antenne-spirale à diverses fréquences.

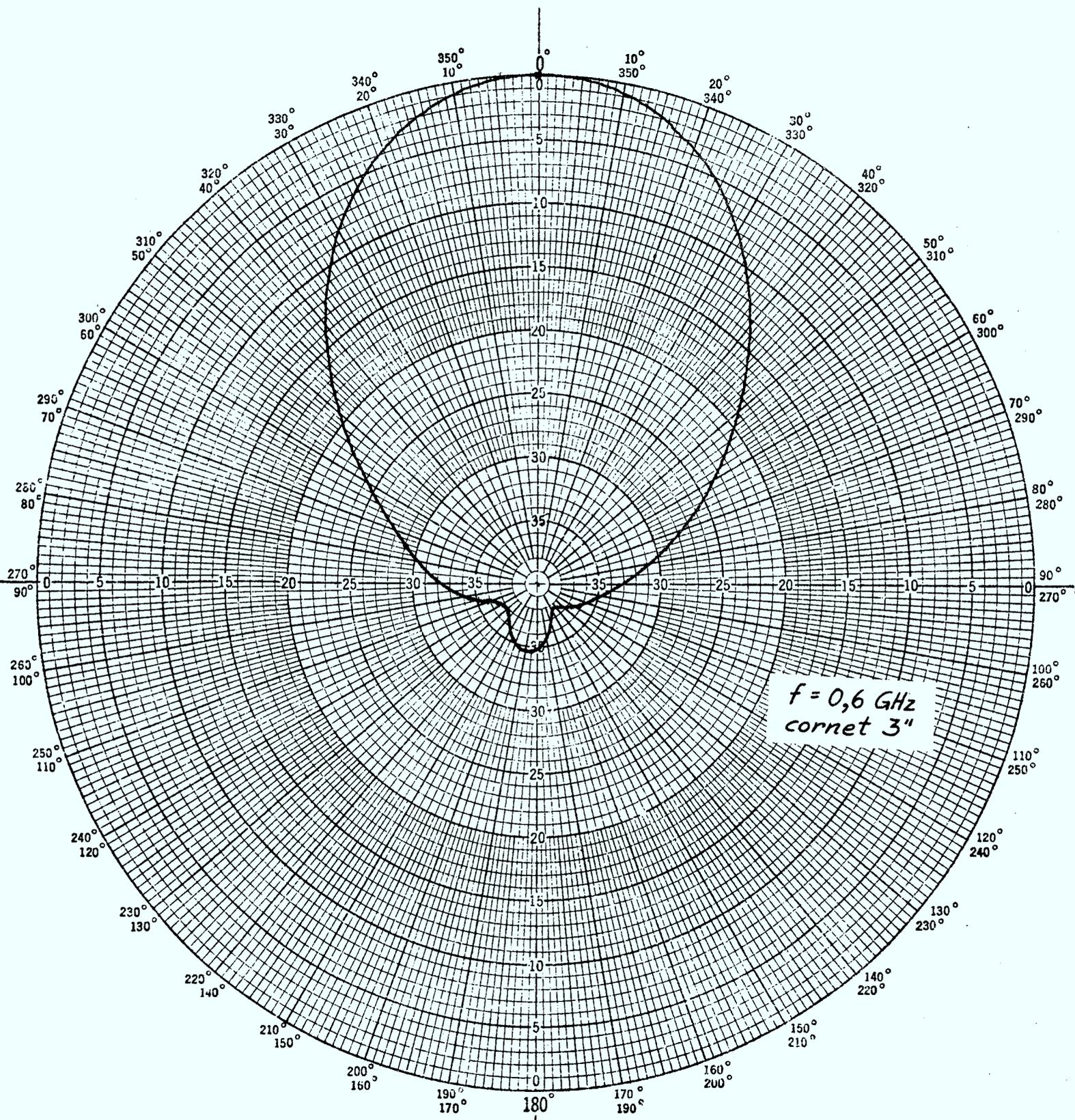


Figure 9: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 0,6$ GHz) en présence du cône métallique de 3". Coordonnées polaires et échelle linéaire.

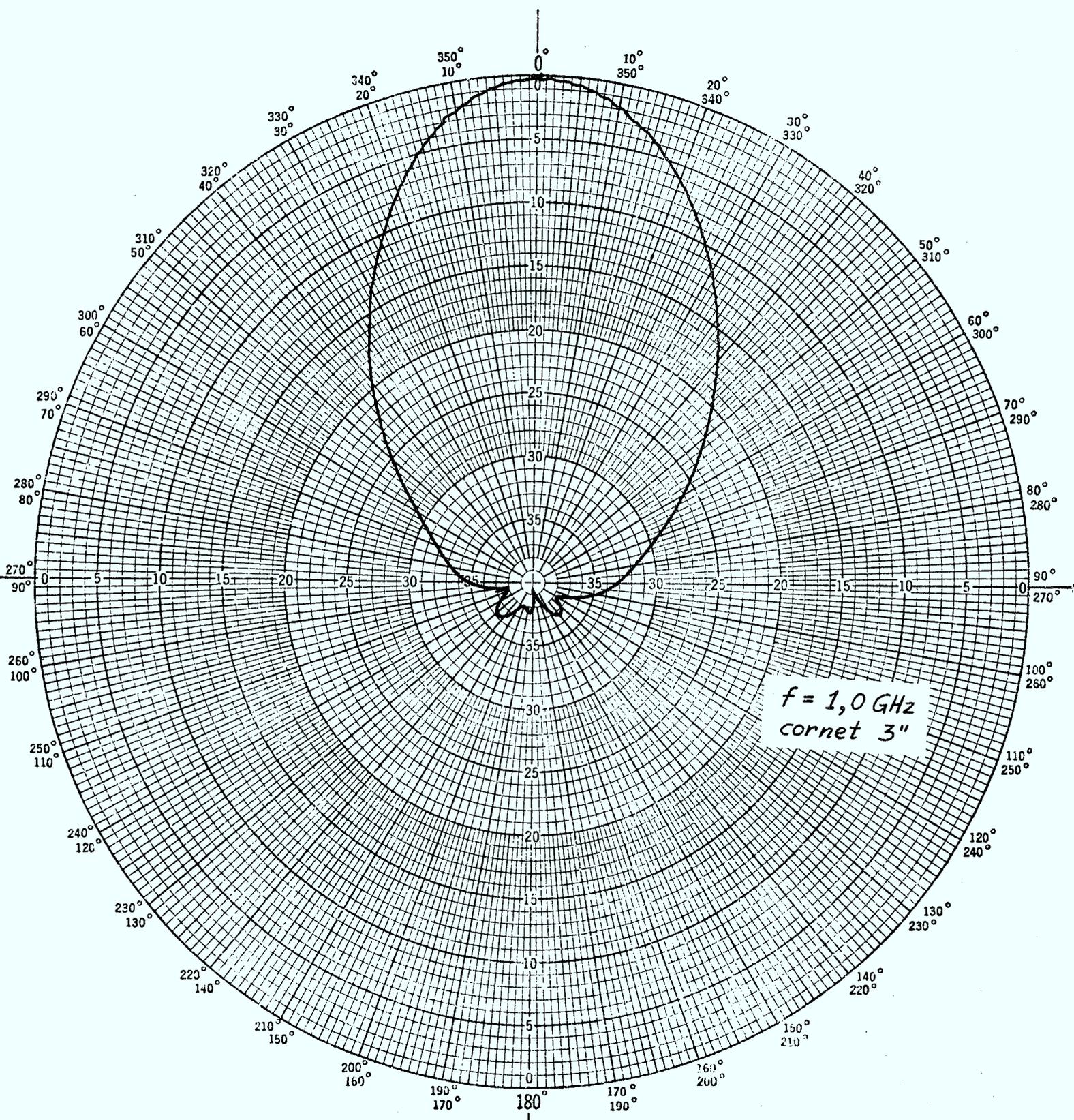


Figure 10: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 1 \text{ GHz}$) en présence du cône métallique de 3". Coordonnées polaires et échelle linéaire.

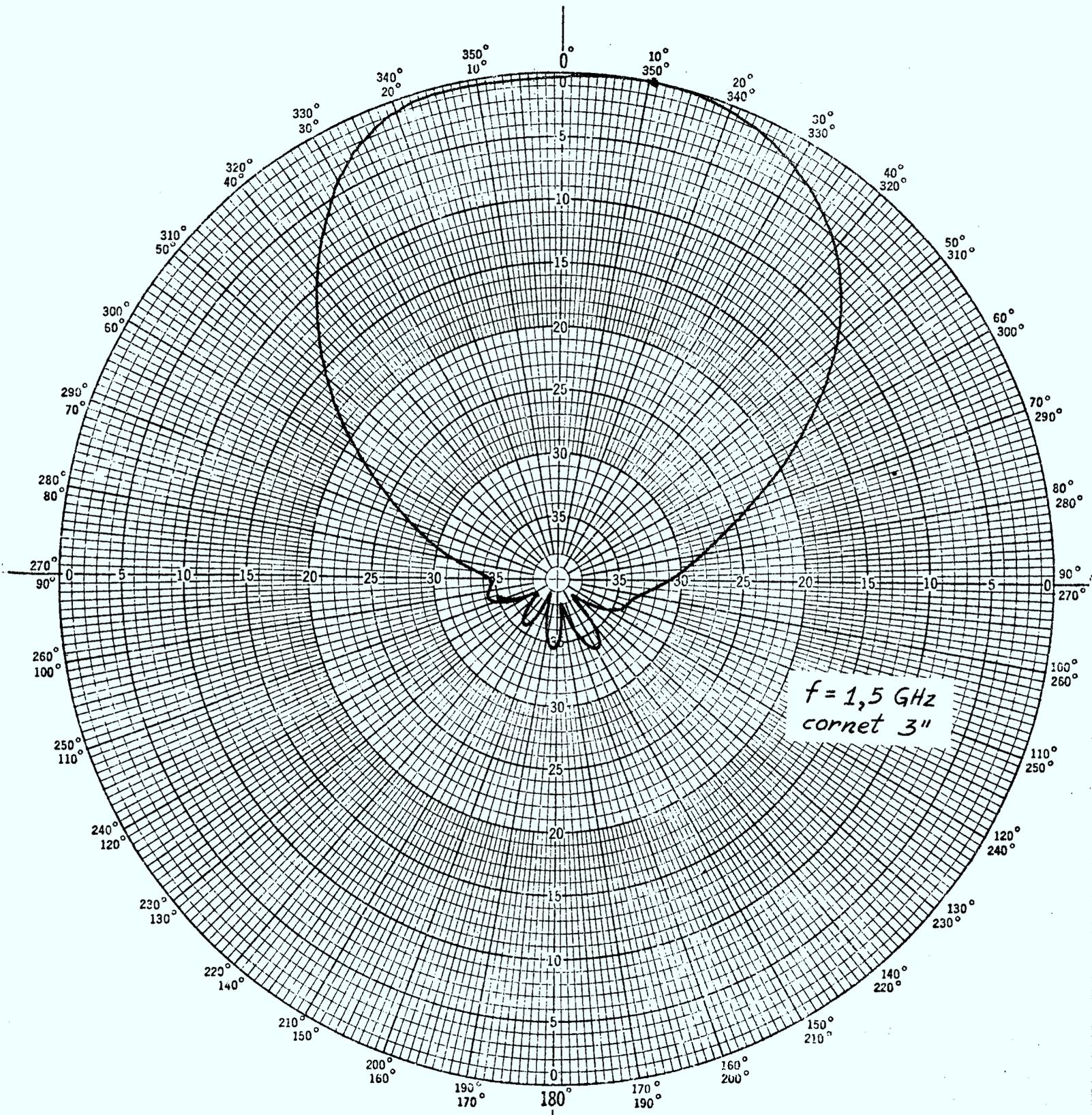


Figure 11: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 1,5$ GHz) en présence du cône métallique de 3". Coordonnées polaires et échelle linéaire.

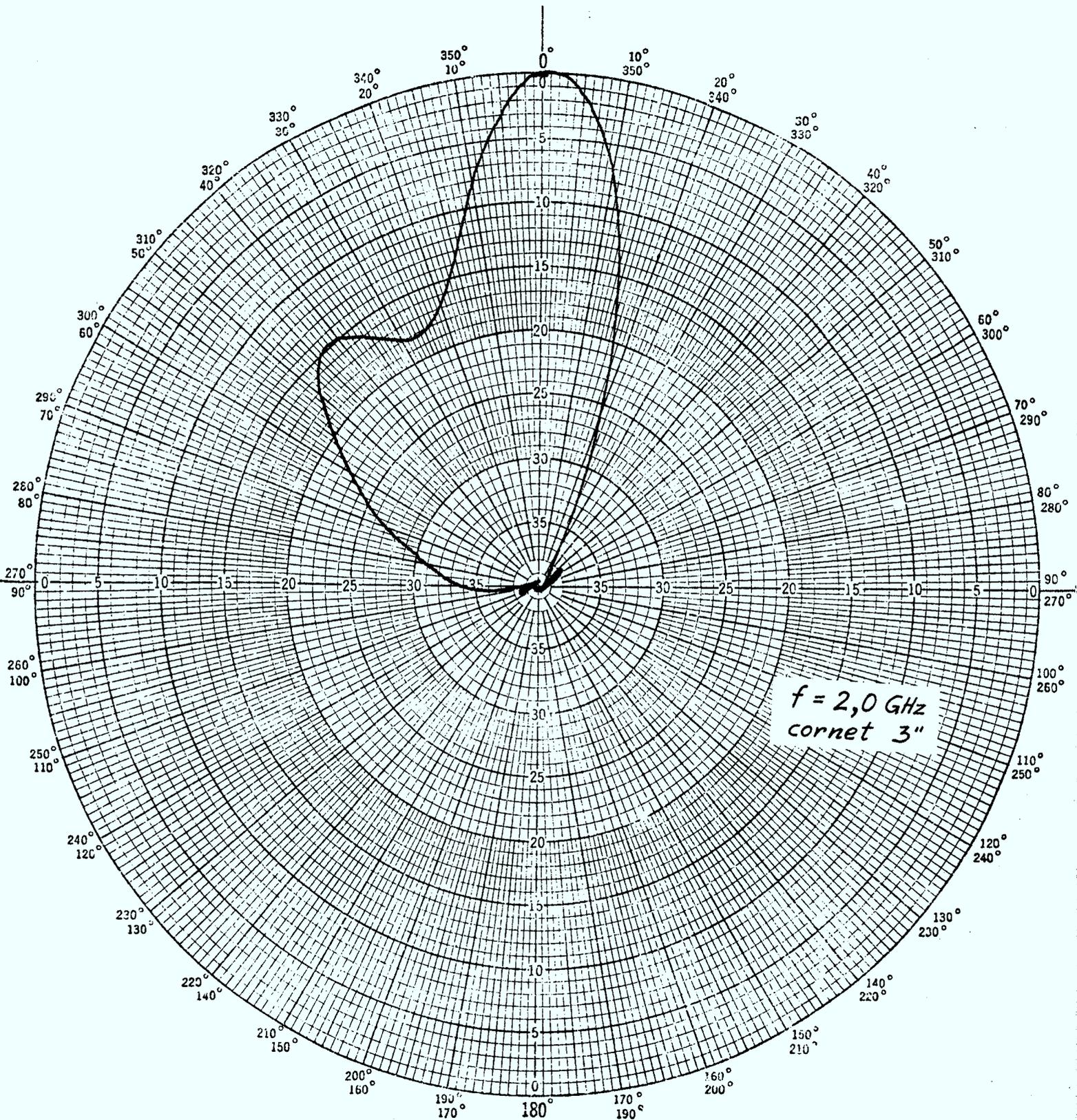


Figure 12: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 2,0$ GHz) en présence du cône métallique de 3". Coordonnées polaires et échelle linéaire.

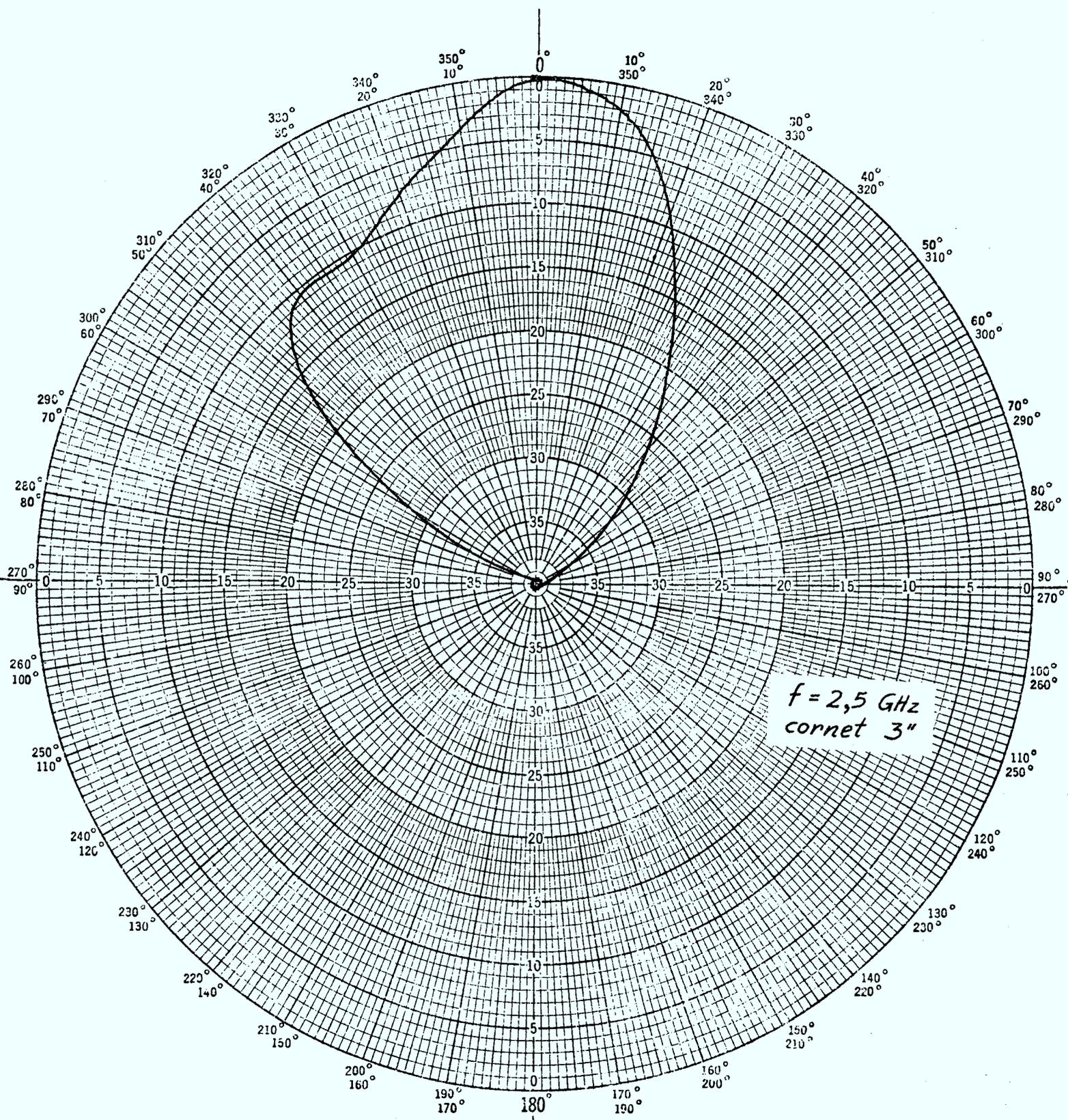


Figure 13: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 2,5$ GHz) en présence du cône métallique de 3". Coordonnées polaires et échelle linéaire.

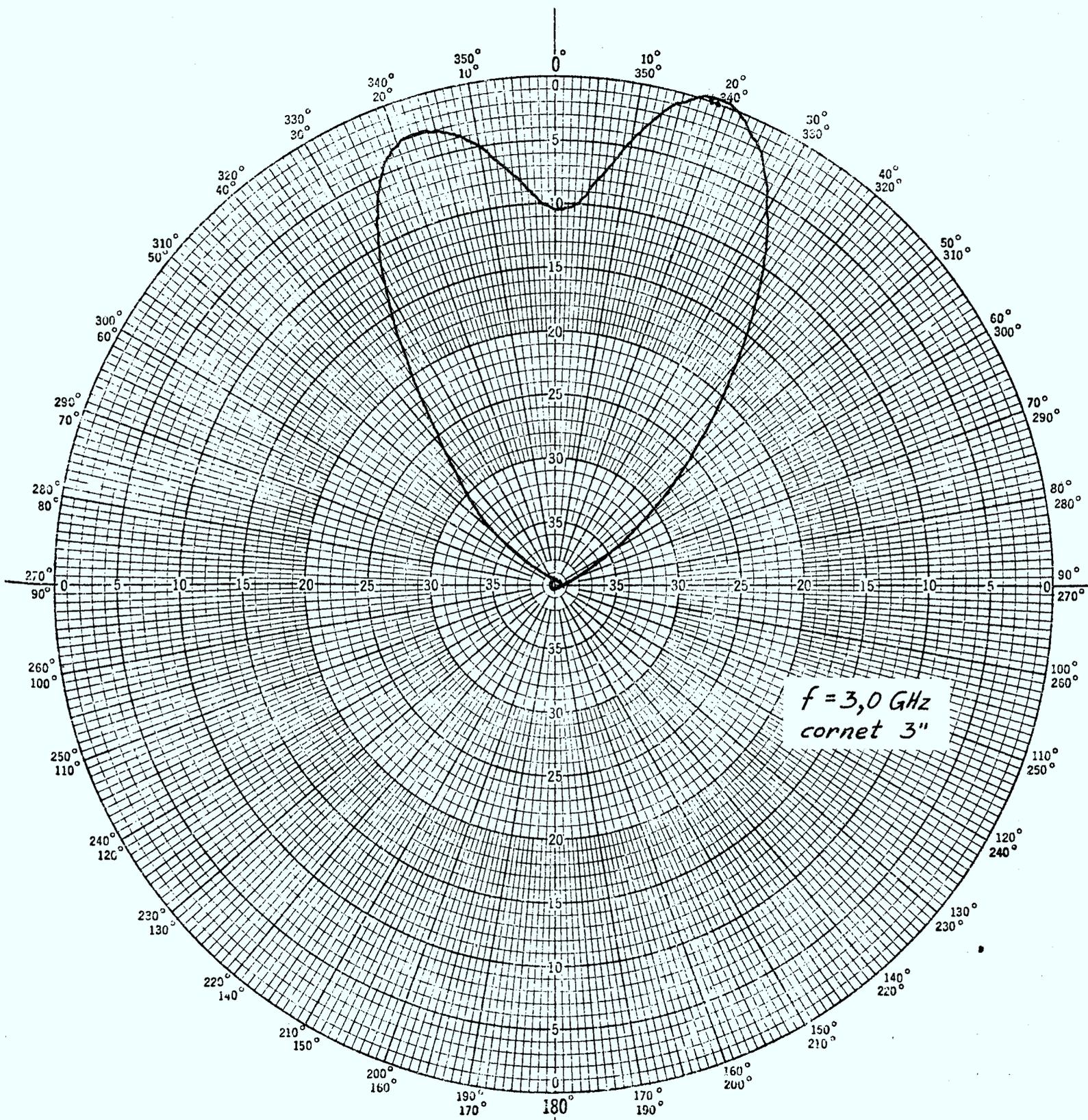


Figure 14: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 3,0$ GHz) en présence du cône métallique de 3". Coordonnées polaires et échelle linéaire.

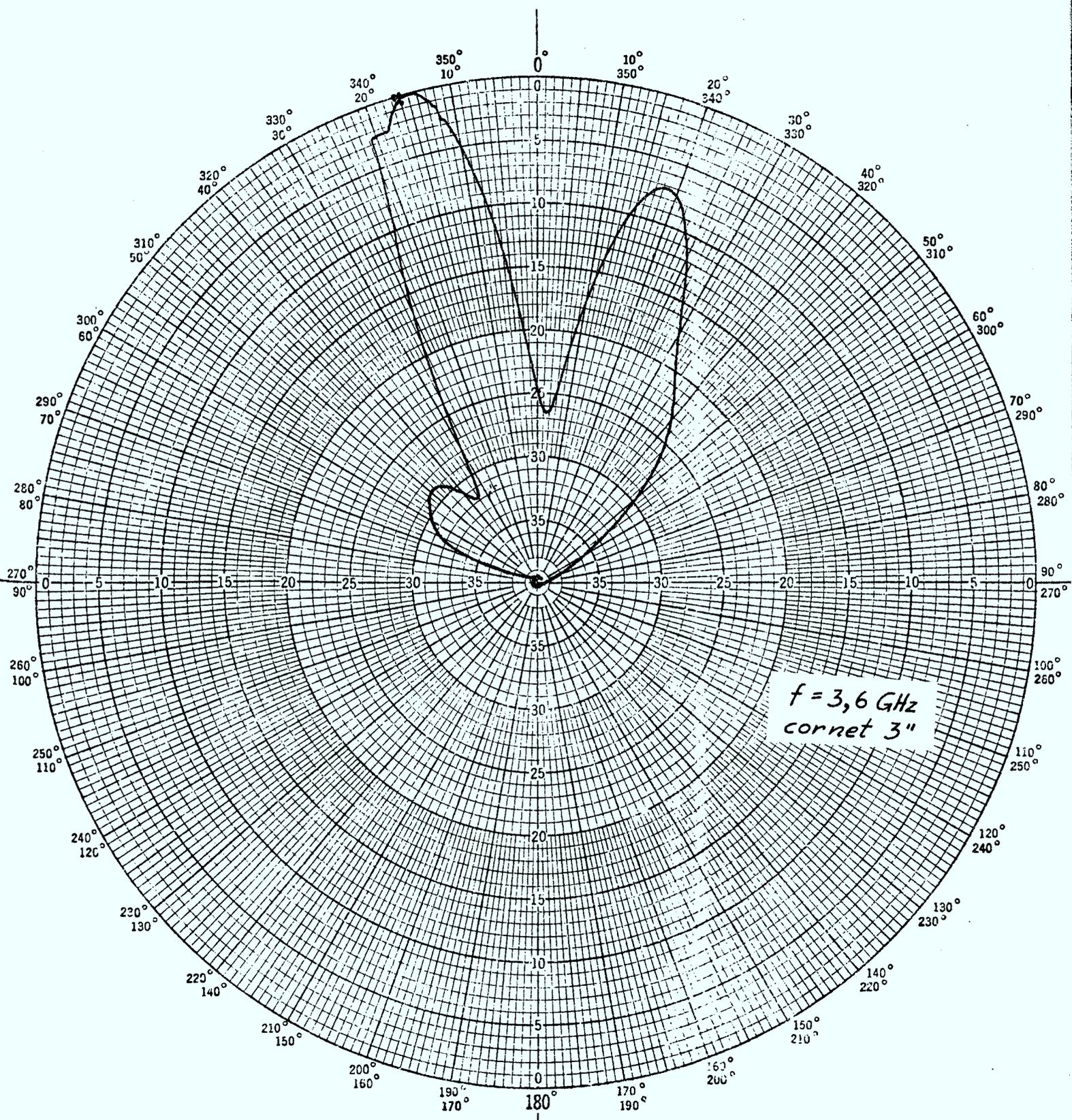


Figure 15: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 3,6 \text{ GHz}$) en présence du cône métallique de 3". Coordonnées polaires et échelle linéaire.

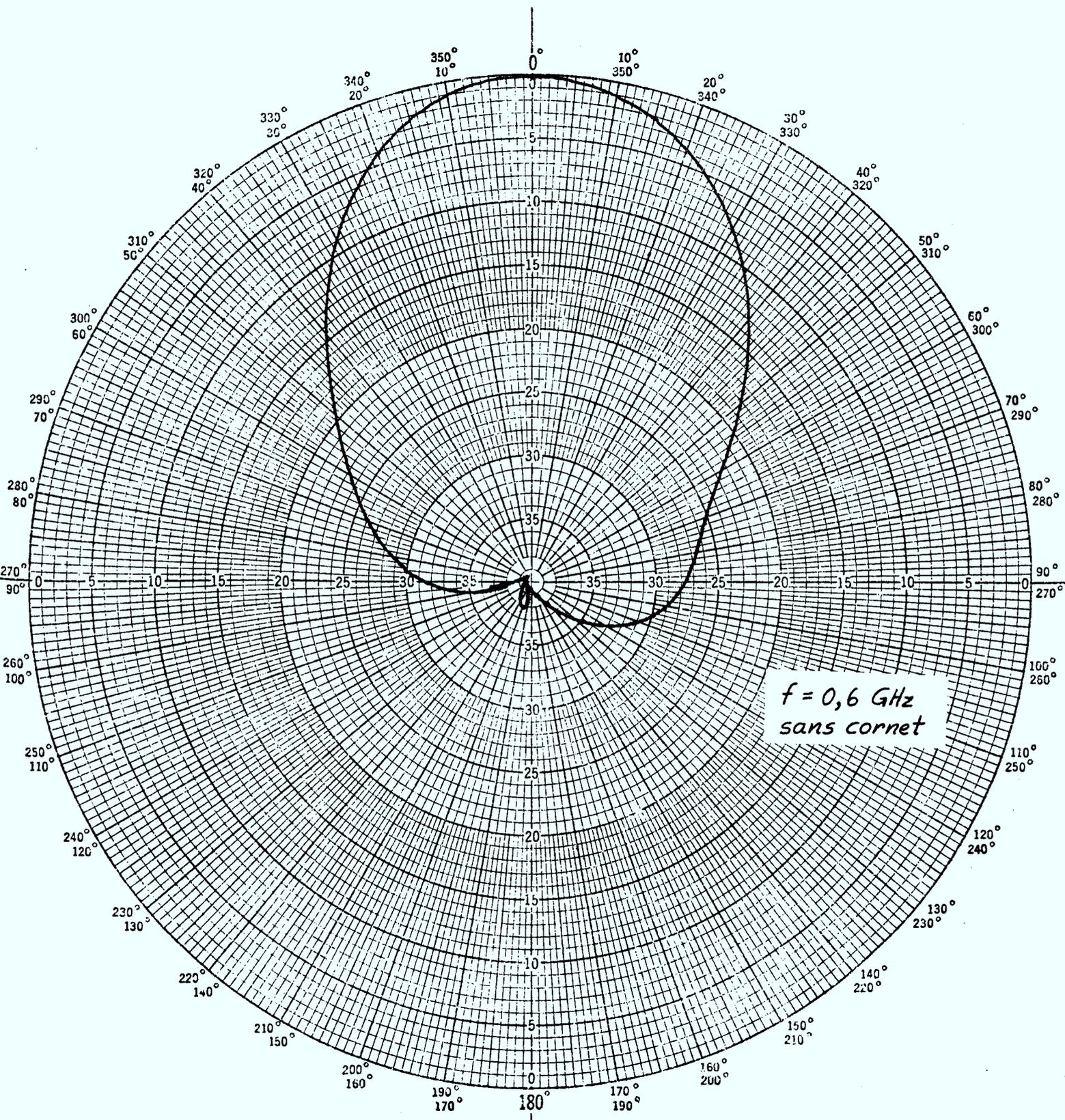


Figure 16; Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 0,6 \text{ GHz}$) en l'absence de cône métallique. Coordonnées polaires et échelle linéaire.

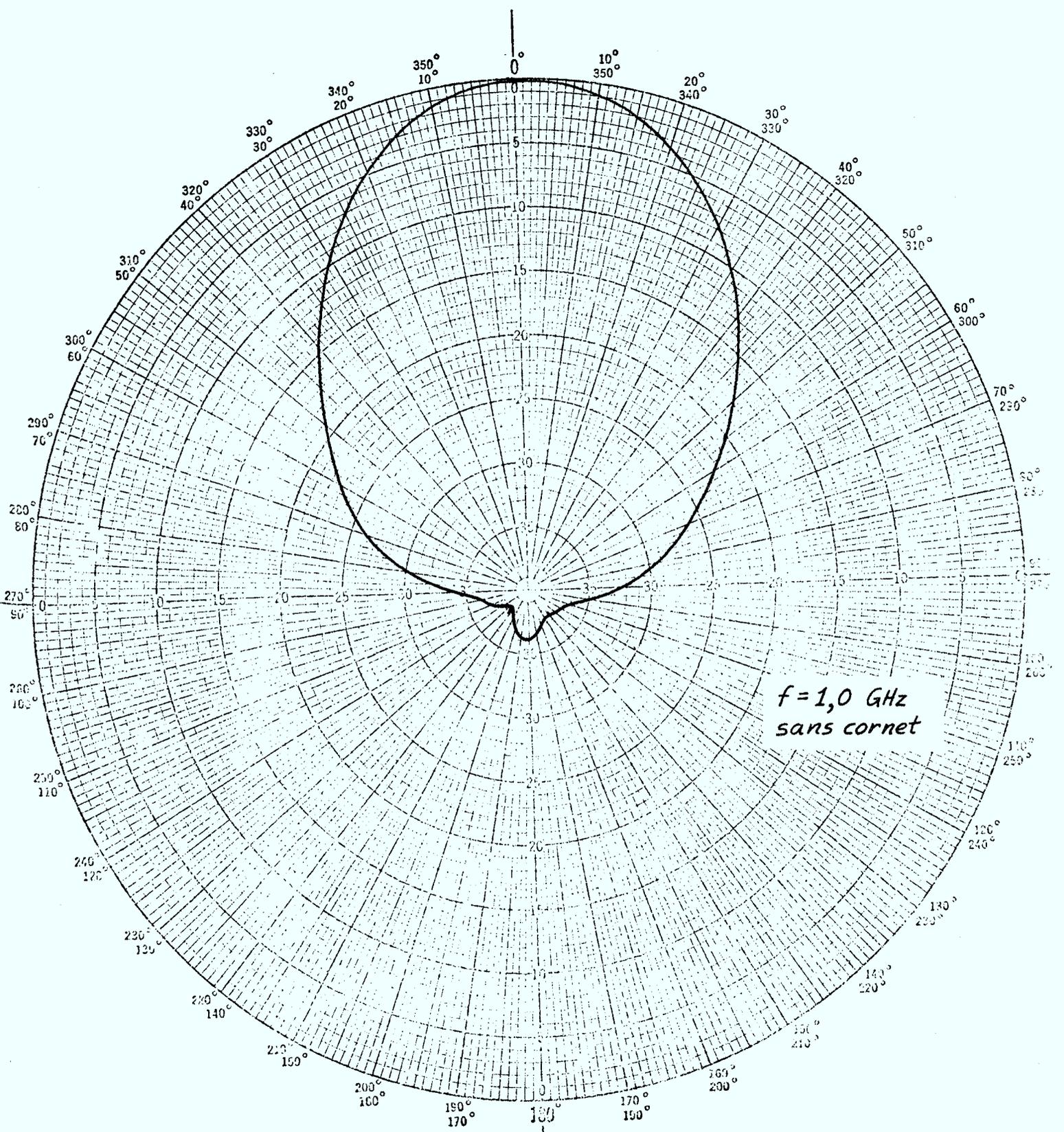


Figure 17: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence (f = 1,0 GHz) en l'absence de cône métallique. Coordonnées polaires et échelle linéaire.

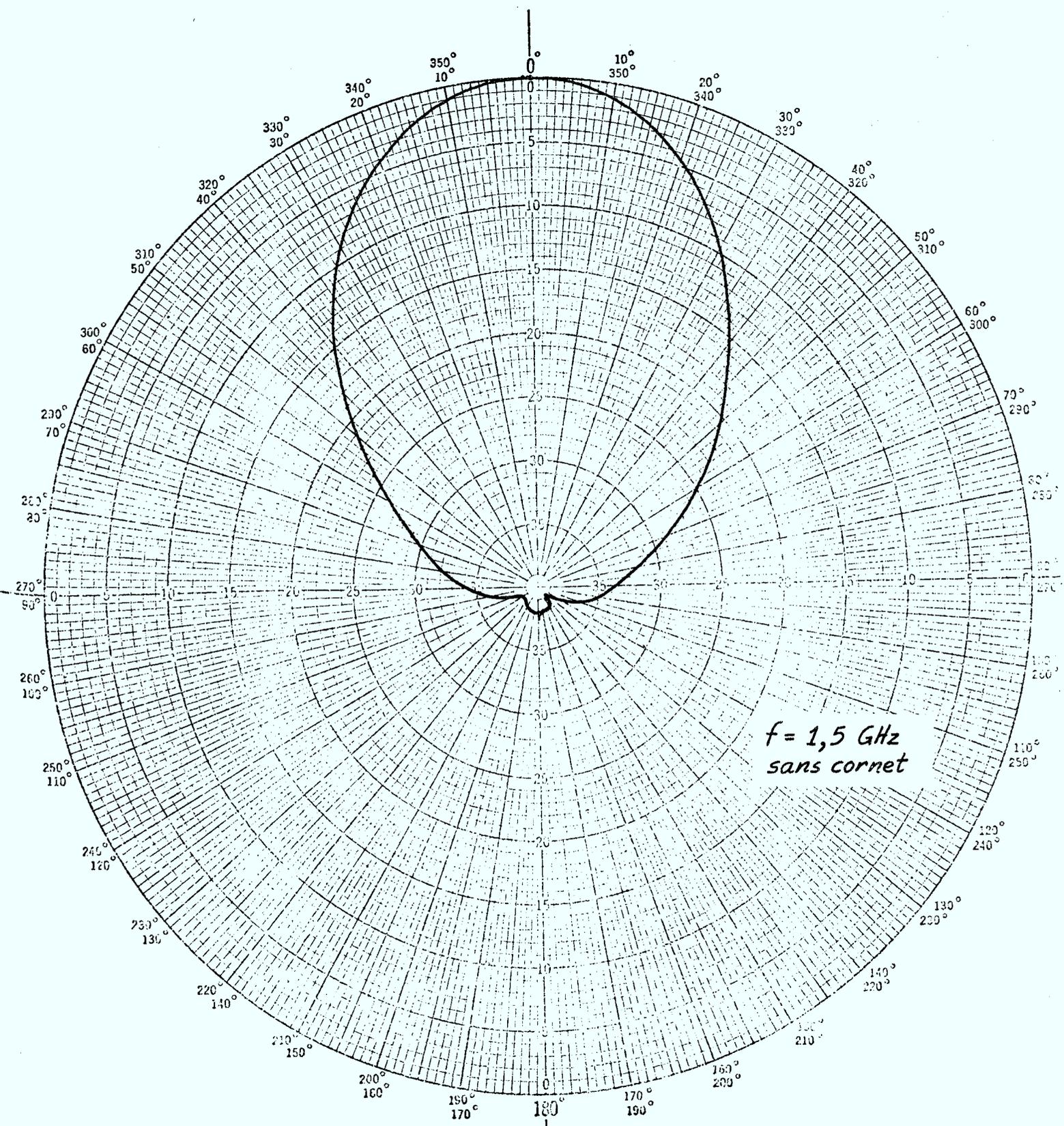


Figure 18: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 1,5 \text{ GHz}$) en l'absence de cône métallique. Coordonnées polaires et échelle linéaire.

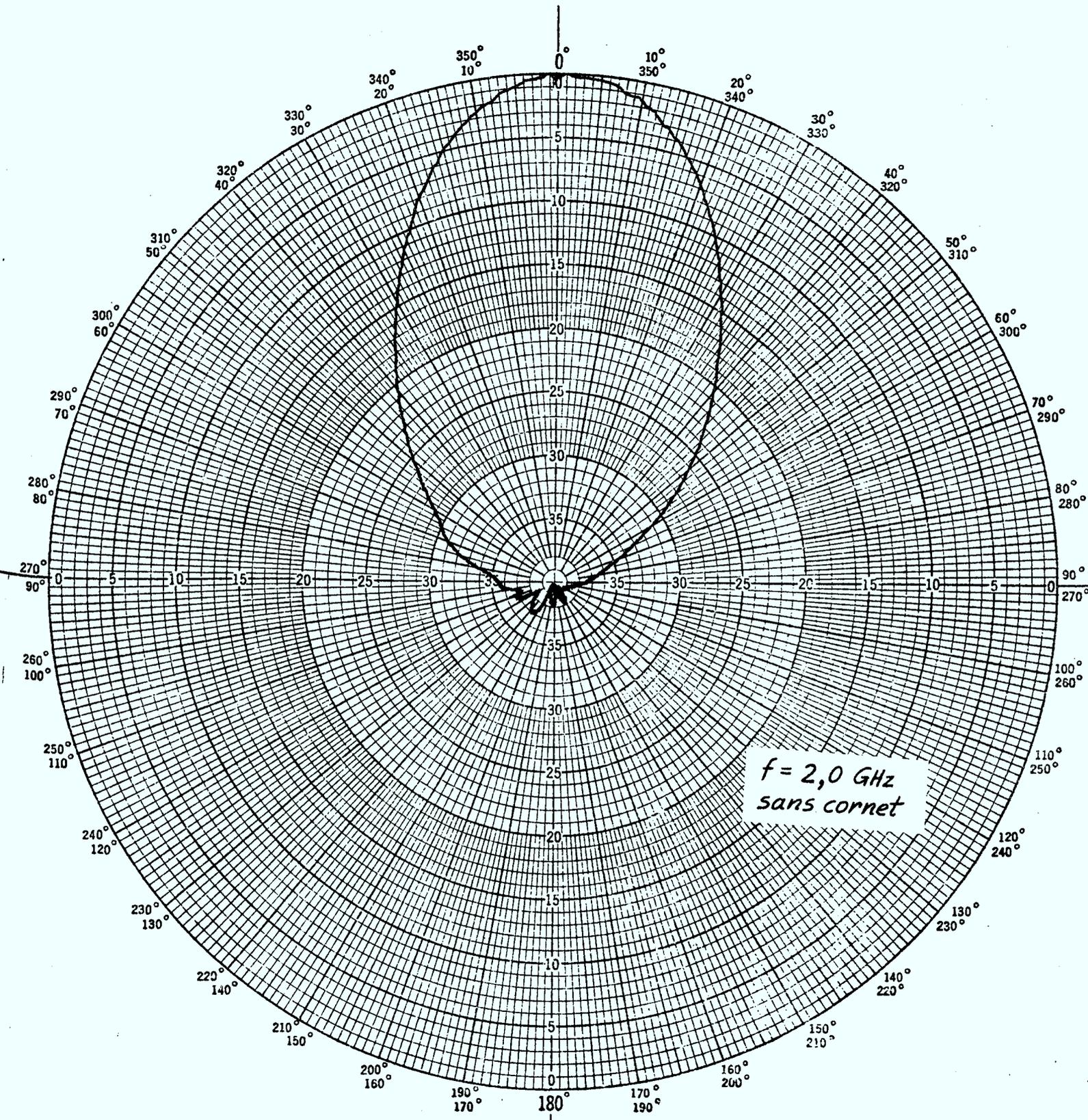


Figure 19: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 2,0$ GHz) en l'absence de cône métallique. Coordonnées polaires et échelle linéaire.

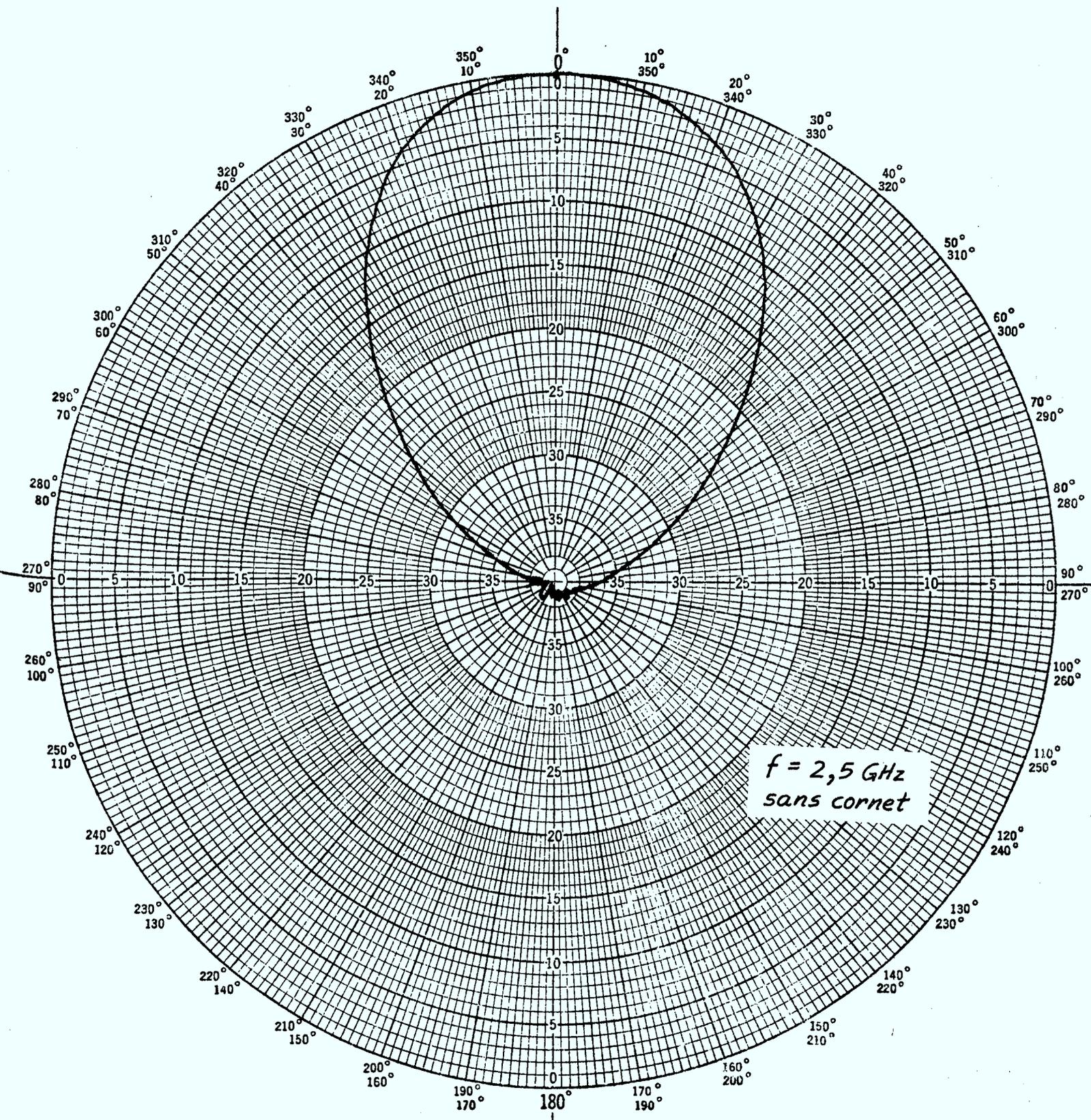


Figure 20: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 2,5$ GHz) en l'absence de cône métallique. Coordonnées polaires et échelle linéaire.

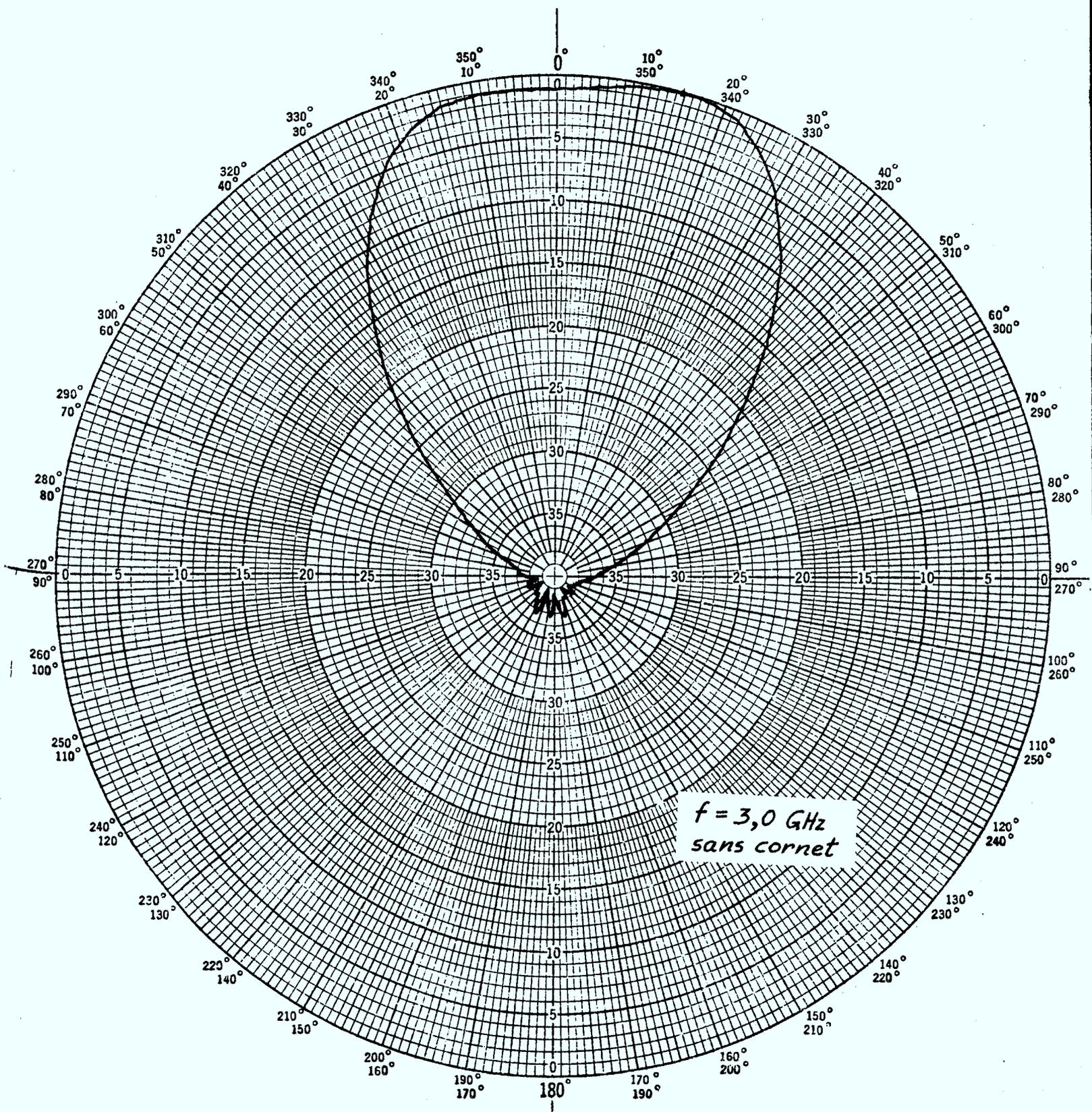


Figure 21: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 3,0$ GHz) en l'absence de cône métallique. Coordonnées polaires et échelle linéaire.

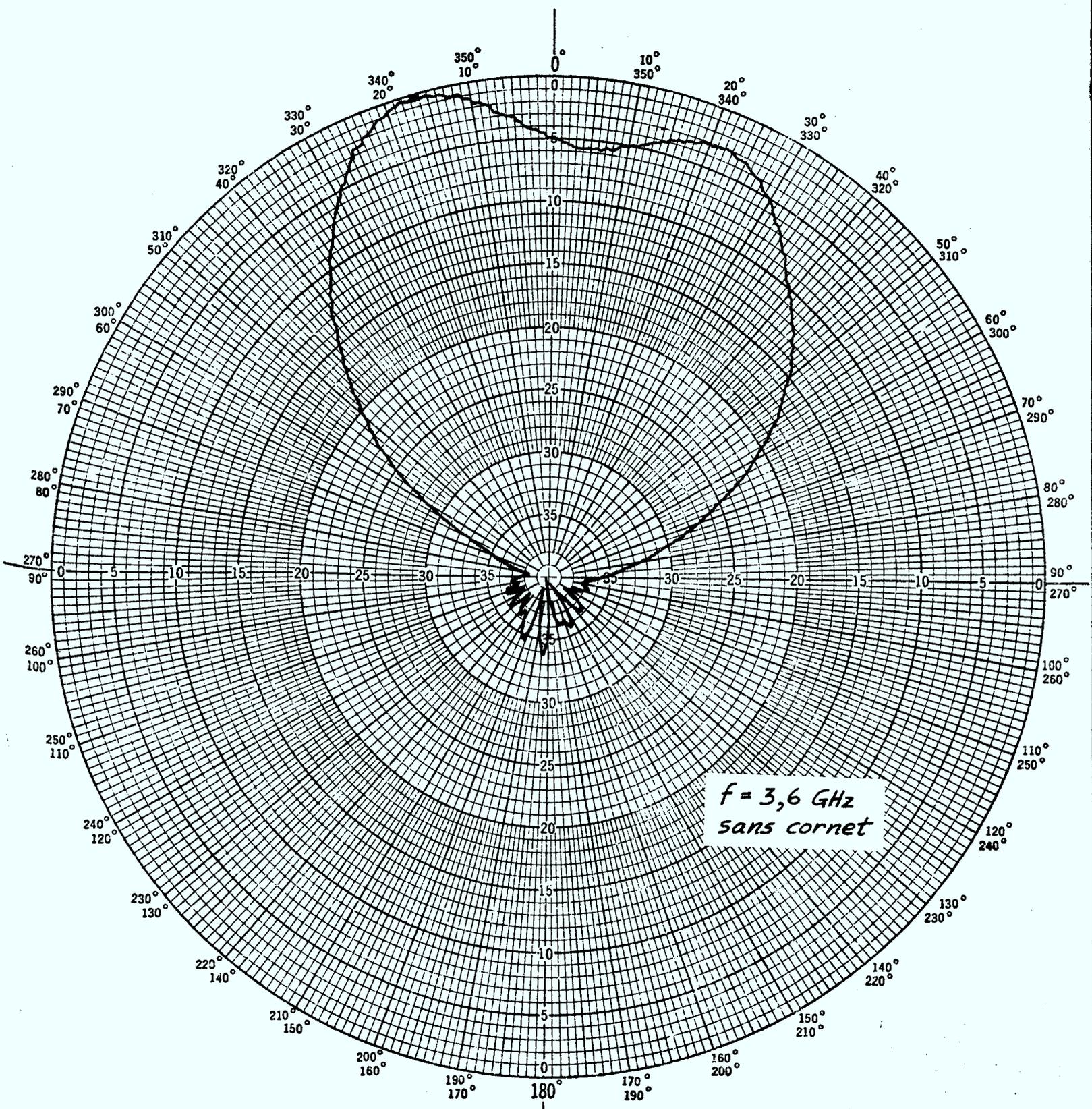


Figure 22: Diagramme de rayonnement de l'antenne-spirale en fonction de la fréquence ($f = 3,6$ GHz) en l'absence de cône métallique. Coordonnées polaires et échelle linéaire.

Chapitre IV

CONCLUSIONS

Les efforts fournis dans le cadre de ce contrat de recherche, et exposés dans les chapitres précédents, démontrent que le projet proposé initialement est très certainement réalisable. Tel que mentionné dans l'introduction, il ne s'agit ici que de la première phase de la réalisation complète et le renouvellement de ce contrat selon les termes de la proposition déjà transmise permettra de mener à bonne fin les travaux déjà entrepris.

Pour la deuxième phase, nos recherches porteront sur les aspects suivants:

- a) essai de cavités de dimensions diverses recouvertes à l'intérieur de matériel absorbant de propriétés variées;
- b) fabrication et essai de bords métalliques inclinés qui entoureront chaque antenne;
- c) mesure de l'influence des rebords métalliques sur le gain de l'antenne-spirale;
- d) série de mesures ayant pour but de déterminer comment l'impédance et le diagramme de rayonnement varient avec la fréquence.

Au terme de la deuxième phase, un prototype fonctionnel dont les paramètres seront connus en détail sera livré.

Bibliographie

- [1]. R. Bawer, J.J. Wolfe, "The Spiral Antenna", IRE International Convention Records, pp. 298-306, May 1960.
- [2] G.A. Deschamps, "Impedance properties of complementary multiterminal planar structure", IRE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-7, pp. S371-S978, December 1959.
- [3] H.R. Phelan, "A wide-band parallel-connected balun", IEEE Trans. Microwaves Theory Tech., vol. MTT-18, pp. 259-263, May 1970.
- [4] H. Jasik, Antenna Engineering Handbook, Mc Graw-Hill, New York, 1965, pp. 2-13/2-14.

Annexe A

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. G.J. Laughlin, "A new Impedance-matched wide-band balun and magic tee", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-24, no 3, pp. 135-141, mars 1976.
2. J. Sevick, "Broadband matching transformers can handle many kilowatts", Electronics, pp. 123-128, novembre 1976.
3. H. Bex, "New Broadband Balun", Electronics Letters, vol. 11, no 2, pp. 47-48, janvier 1975.
4. H.R. Bhojwani, L.W. Zelky, "Spiral top-loaded antenna : characteristics and design", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-21, no 3, pp. 293-298, mai 1973.
5. Y. Shimada, "Fundamental considerations of broad-band line type transformers", Review of the Electrical Communication Laboratory, vol. 18, nos. 1-2, pp. 97-111, janvier-février 1970.
6. Y. Shimada, "Input impedance analysis of 1:1 balun", Review of the Electrical Communication Laboratory, vol. 18, nos. 11-12, pp. 876-883, novembre-décembre 1970.
7. H.R. Phelan, "A wide-band parallel-connected balun," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-18, no 5, pp. 259-263, mai 1970.
8. G. Oltman, "The compensated balun", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-14, no 3, pp. 112-119, mars 1966.
9. R. Sivan-Sussman, "Various modes of the equiangular spiral antenna", IEEE Trans. Antennas Propagat., pp. 533-539, septembre 1963.
10. C.H. Tang, "A class of modified log-spiral antennas", IEEE Trans. Antennas Propagat., pp. 422-427, juillet 1963.

11. J.R. Donnellan, R.T. Close, "A spiral-grating array", IRE Trans. Antennas Propagat., pp. 291-295, mai 1961.
12. J.R. Donnellan, "Second-mode operation of the spiral antenna", IRE Trans. Antennas Propagat., p. 637, novembre 1960.
13. W.L. Curtis, "Spiral antennas", IRE Trans. Antennas Propagat., pp. 298-306, mai 1960.
14. J.A. Kaiser, "The Archimedean two-wire spiral antenna", IRE Trans. Antennas Propagat., pp. 312-323, mai 1960.
15. R. Bawer, J.J. Wolfe, "A printed circuit balun for use with spiral antennas", IRE Trans. Microwave theory Tech., vol. MTT-8, pp. 319-325, mai 1960.
16. R. Bawer, J.J. Wolfe, "The spiral antenna", 1960 IRE International Convention Record, pp. 84-95, mars 1960.
17. H. Kogo, "Analysis of split coaxial line type balun", IRE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-8, pp. 245-246, mars 1960.
18. J.W. Duncan, V.P. Minerva, "100:1 bandwidth balun transformer", Proc. IRE, vol. 48, pp. 156-164, février 1960.
19. G.A. Deschamps, "Impedance properties of complementary multiterminal planar structures" IRE Trans. Antennas Propagat., pp. S371-S378, décembre 1959.
20. J.D. Dyson, "The unidirectional equi-angular spiral antenna", IRE Trans. Antennas Propagat., pp. 329-334, octobre 1959.
21. C.J. Ruthroff, "Some broad-band transformers", Proc. IRE, vol. 47, pp. 1337-1342, août 1959.
22. J.D. Dyson, "The equiangular spiral antenna", IRE Trans. Antennas Propagat., pp. 181-187, avril 1959.
23. E.M.T. Jones, J.K. Shimizu, "A wide-band strip-line balun", IRE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-7, pp. 128-134, janvier 1959.
24. T.R. O'Meara, R.L. Sydnor, "A very wide-band balun transformer for VHF and UHF", Proc. IRE, vol. 46, pp. 1848-1860, novembre 1958.
25. J.W. McLaughlin, D.A. Dunn, R.W. Grow, "A wide-band balun", IRE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-6, pp. 314-316, juillet 1958.

26. W.K. Roberts, "A new wide-band balun", Proc. IRE, vol. 45, pp. 1628-1631, décembre 1957.
27. O.M. Woodward, Jr., "Balance measurements on balun transformers", Electronics, pp. 188-191, septembre 1953.
28. E.G. Fubini, P.J. Sutro, "A wide-band transformer from an unbalanced to a balanced line", Proc. IRE, vol. 35, pp. 1153-1155, octobre 1947.
29. N. Marchand, "Transmission-line conversion", Electronics, pp. 142-145, décembre 1944.
30. R. King, "Coupled antennas and transmission-lines", Proc. IRE, vol. 31, pp. 626-640, novembre 1943.

