

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 31 (1953)

Heft: 3

Artikel: Diagrammes de réception d'antennes rhombiques dans un plan vertical

Autor: Dufour, Jean

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876341>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telefonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Diagrammes de réception d'antennes rhombiques dans un plan vertical

Résultats expérimentaux

Par Jean Dufour, Berne

621.396.677.43

Résumé. Après avoir donné quelques indications sur la méthode utilisée pour mesurer les diagrammes directifs d'antennes dans un plan vertical, on compare les résultats obtenus dans l'axe de deux antennes rhombiques légèrement différentes avec les résultats théoriques, pour 6 fréquences de 5 à 30 Mc/s. On trouve en général une très bonne concordance. Une importante réflexion se produit au sol à 6 à 7 km de la station provoquant de fortes interférences pour des angles d'incidence inférieurs à 8° .

Zusammenfassung. Nach einigen Angaben über die angewendete Methode zur Messung der Richtdiagramme von Antennen in vertikaler Ebene, werden die erhaltenen Resultate von zwei leicht voneinander verschiedenen Rhombusantennen mit den theoretischen Resultaten für sechs Frequenzen von 5...30 MHz verglichen. Die Resultate zeigen eine gute Übereinstimmung. Eine starke Bodenreflexion zeigt sich in etwa 6...7 Kilometer Entfernung von der Station, die starke Interferenzen für Einfallswinkel von weniger als 8° verursacht.

I. Généralités

La station de Châtonnaye, centre de réception du service radiotéléphonique entre la Suisse et les pays d'outre-mer, dispose d'un certain nombre d'antennes rhombiques et d'antennes «rideau». Leurs dimensions ont été déterminées pour obtenir certaines valeurs de sensibilité et de directivité pour des conditions idéales; le diagramme théorique de réception, pour ces conditions, peut donc être calculé. Mais le résultat pratique pourra s'en écarter dans une certaine mesure par suite des conditions topographiques locales (inclinaison du sol, constantes électriques du sol), de la construction mécanique de l'antenne, de son adaptation imparfaite, de couplages entre antennes voisines, de questions de propagation (polarisation et défaut d'homogénéité de l'onde incidente), etc. Il est intéressant de savoir ce qu'on peut attendre de ces antennes, pour quel angle d'incidence des ondes et pour quelles fréquences elles sont les plus favorables. C'est ce qui nous a amenés à faire la campagne de mesures dont quelques résultats sont reportés ici¹⁾.

¹⁾ Les résultats complets se trouvent dans le rapport n° 33.35 du Laboratoire de recherches et d'essais de la direction générale des PTT, du 26 XI 1952: «Diagrammes directifs de réception d'antennes rhombiques et d'antennes-rideau dans des plans verticaux pour différentes fréquences.» Il s'agit du diagramme directif dans 3 plans verticaux de 2 antennes rhombiques pour les fréquences de 5, 10, 15, 20, 25 et 30 Mc/s et de 6 antennes-rideau, accordées chacune sur l'une de ces 6 fréquences.

II. Méthode de mesure

Comme il s'agit dans ce cas d'antennes de réception, il était naturel de monter l'émetteur dans un avion et de mesurer au sol l'intensité du signal reçu. Les antennes étaient utilisées de la manière dont leur emploi a été prévu; on disposait au sol de récepteurs de haute qualité et l'on avait la possibilité de mesurer simultanément, pour la fréquence émise, autant d'antennes qu'on avait de récepteurs-enregistreurs disponibles.

Du fait qu'on ne disposait pas d'un hélicoptère, mais d'un avion normal, des vols à hauteur constante étaient imposés. Ces vols pouvaient être circulaires, autour de la station, ou rectilignes, au-dessus de celle-ci. Comme c'est le rayonnement dans le plan vertical qui est le plus important, on a jugé préférable de faire des vols rectilignes, qui donnent un diagramme de rayonnement vertical continu, et des vols dans différentes directions, pour avoir une idée du diagramme de rayonnement horizontal. Cette solution a encore un grand avantage: c'est que le pilotage de l'avion sur une trajectoire donnée est beaucoup plus précis en ligne droite qu'en cercle. En revanche, elle a l'inconvénient que, le rayonnement de l'antenne d'émission n'étant pas le même dans toutes les directions par suite de la présence de la masse métallique de l'avion, l'énergie émise vers la station de réception dépend de la position et de la direction de l'avion;

ceci nécessite une correction dans l'analyse des résultats. Il est possible de déterminer cet effet et la correction nécessaire en parcourant une trajectoire dans les deux sens aller et retour et en comparant les deux courbes obtenues qui doivent donner, après correction, le même résultat.

La hauteur de vol était de 2000 m, soit 1260 m au-dessus des antennes, permettant de relever le diagramme jusqu'à des angles de $30^{\circ} 40'$ pour une distance de 20 km de l'avion à la station; les mesures furent faites sur 6 fréquences couvrant toute la gamme des

ondes courtes, soit sur 5, 10, 15, 20, 25 et 30 Mc/s et dans 3 plans verticaux. Seuls les résultats obtenus dans l'axe des antennes sont examinés ici.

La position de l'avion, qui doit être connue avec une aussi grande précision que possible, était repérée photographiquement: une vue du sol prise par l'observateur depuis l'avion, à la verticale, donnait, sur un cliché, simultanément la position, le numéro de la photo, l'heure exacte à la seconde, l'altitude et l'état du niveau à bulle d'air. A l'instant où la photo était prise, l'émetteur était coupé brièvement, donnant une

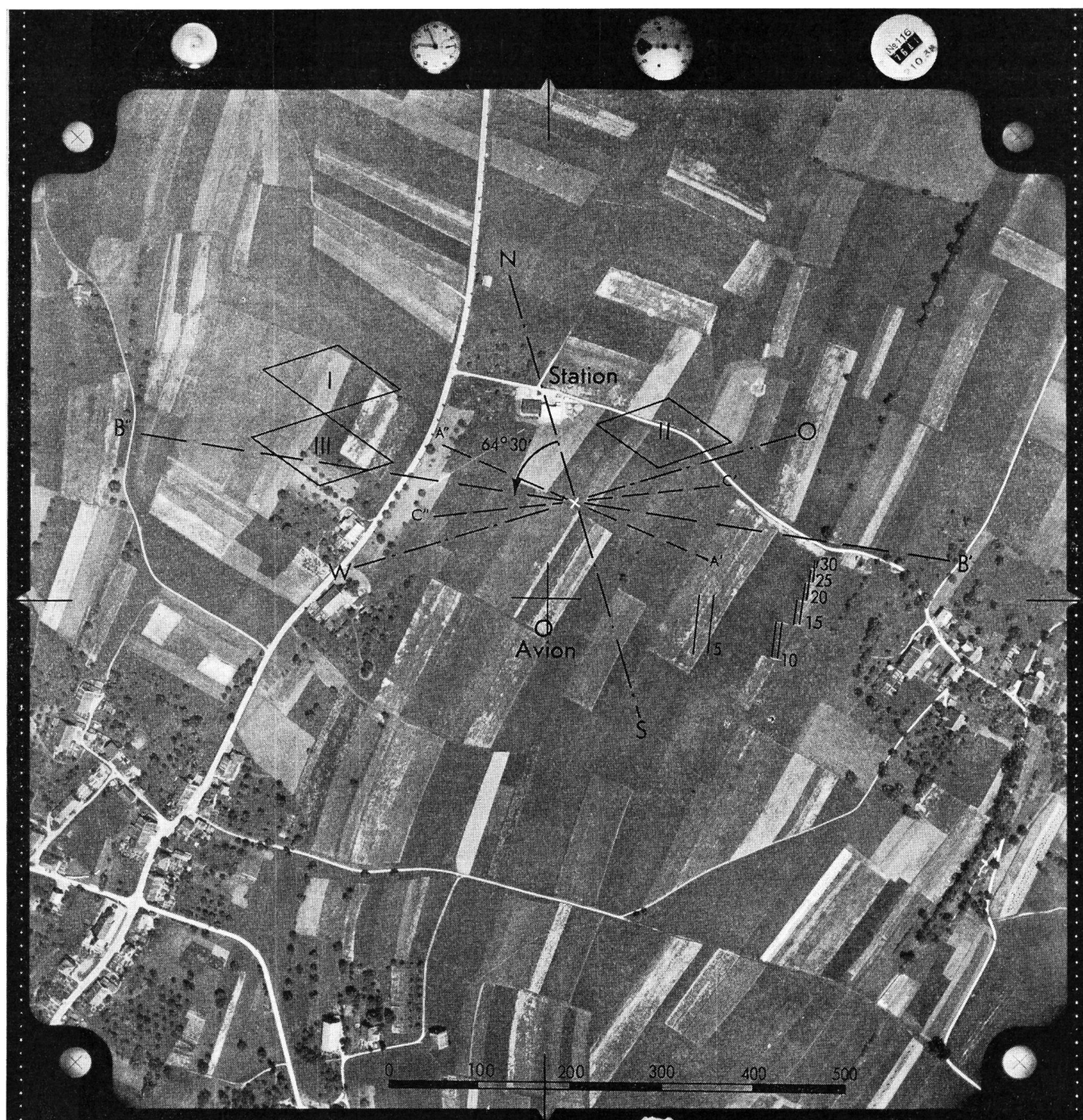


Fig. 1. Vue d'avion de la station de Châtonnay avec les emplacements des antennes et les axes de vol. Exemple d'une photographie servant à fixer la position exacte de l'avion. On remarque en haut de gauche à droite le niveau à bulle d'air, la montre, l'altimètre et le compteur de photos

impulsion négative sur les enregistrements. La figure 1 est un exemple d'une de ces photos prise au-dessus de la station; elle donne en même temps le plan de situation des antennes.

III. Disposition et caractéristiques des antennes mesurées

Les mesures ont porté sur les deux antennes rhombiques marquées I et III. Ces antennes ont la même direction (azimut $295^{\circ} 40'$) et sont juxtaposées, les deux petits axes étant dans le prolongement l'un de l'autre. Leurs dimensions (fig. 2) sont identiques: grand axe 150 m de long, petit axe 75 m. Le terrain sur lequel elles sont tendues n'est pas absolument plat; les cotes du pied des mâts sont données dans le tableau I. Les points d'attache des fils étant à 20 m au-dessus du sol, les antennes ne sont pas rigoureusement horizontales.

Tableau I

		Antenne I	Antenne III
		mètres au-dessus de la mer	
Grand axe	Extrémité ouest	714,50	715,47
	Extrémité est	715,59	714,73
Petit axe	Extrémité nord	714,60	714,37
	Extrémité sud	714,37	712,78

L'antenne I a des mâts en bois, l'antenne III en béton. Il a donc été possible de tendre davantage l'antenne III; pour celle-ci, la flèche du fil est de l'ordre de 1 m alors qu'elle atteint environ 3 m pour l'antenne I. On trouve une autre différence entre les 2 antennes dans la méthode de couplage de l'antenne à la ligne. Dans l'antenne I, le losange est prolongé jusqu'à l'écartement de 26,5 cm de la ligne d'alimentation à laquelle il se raccorde sans transition; dans l'antenne III, il y a un passage progressif de l'antenne à la ligne par un raccord en Δ s'étendant sur une longueur d'une dizaine de mètres comme le montrent les détails A de la figure 2.

Le terrain, la tension des fils et cette adaptation sont les seules différences entre les deux antennes.

Pour les conditions suivantes: terminaison sans réflexion, atténuation négligeable, impédance caractéristique constante, sol bon conducteur, ondes incidentes polarisées horizontalement et plan vertical contenant l'axe de l'antenne, le diagramme théorique de réception d'une antenne rhombique, est donné par la relation suivante:

Intensité relative de la réception =

$$\frac{\cos \alpha}{1 - \sin \alpha \cdot \cos \theta} \cdot \sin \left(\frac{2\pi H}{\lambda} \cdot \sin \theta \right) \cdot \sin^2 \left[\frac{\pi L}{\lambda} (1 - \sin \alpha \cdot \cos \theta) \right]$$

Pour les antennes mesurées, nous avons: (fig. 2)

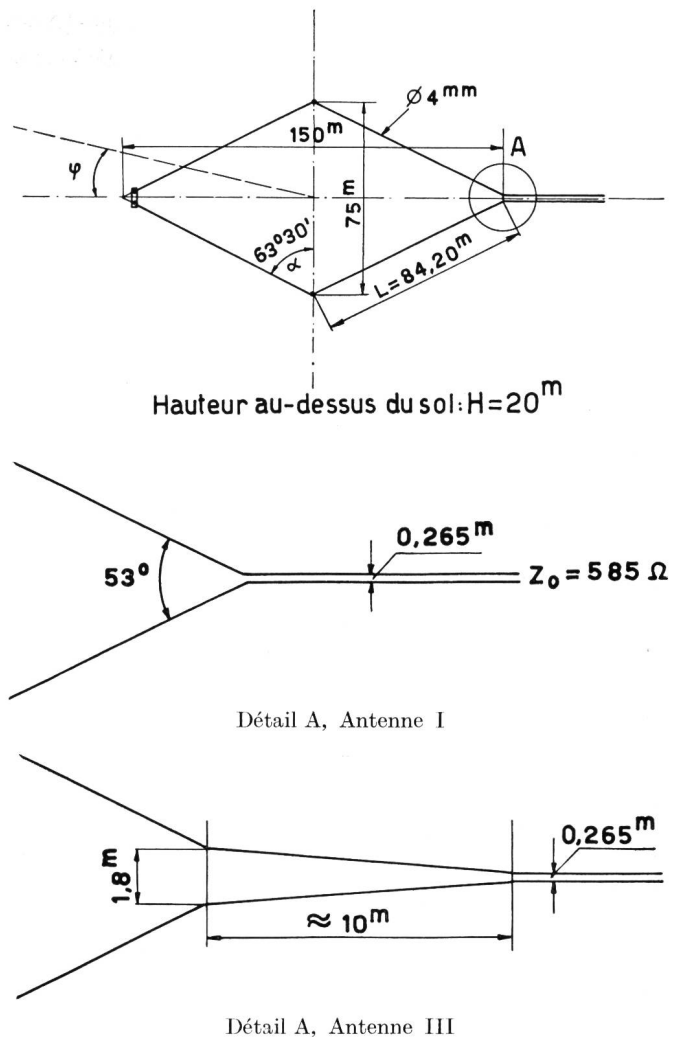


Fig. 2. Dimensions des antennes rhombiques I et III

α = $\frac{1}{2}$ angle obtus du losange = $63^{\circ} 30'$
 L = côté du losange = 84,20 m
 H = hauteur au-dessus du sol = 20 m
 θ = angle d'incidence des ondes par rapport au plan horizontal.

Les diagrammes théoriques calculés pour les valeurs ci-dessus sont donnés par Ebert²⁾; ce sont ceux que nous avons repris pour la comparaison (fig. 3 à 8).

IV. Résultats des mesures

Les figures 3 à 8 donnent pour l'antenne rhombique III, en valeurs relatives, pour les différentes fréquences, en trait plein le champ mesuré et en pointillé le diagramme théorique. Les amplitudes ont été choisies de façon à avoir une bonne concordance du lobe principal mesuré et calculé.

Le tableau II donne pour les antennes I et III la correspondance numérique entre les valeurs théoriques et les valeurs mesurées des angles des 3 lobes

²⁾ W. Ebert. La réception des fréquences-étalon émises par la station de Beltsville WWV. Bull. Techn. PTT 28 (1950), 457...482.

On y trouve également la formule complète pour un azimut différent de zéro, et la discussion de la formule.

Tableau II. Comparaison des valeurs calculées et mesurées sur les deux antennes:

1° pour les angles de site des trois lobes les plus importants;

2° pour les rapports des amplitudes des lobes secondaires au lobe principal.

	Fréquence	Lobe 1			Lobe 2			Lobe 3			Direction de vol
	Mc/s	Calculé	Mesuré		Calculé	Mesuré		Calculé	Mesuré		voir fig. 3
			Ant. I	Ant. III		Ant. I	Ant. III		Ant. I	Ant. III	
Comparaison des angles	5	37°	29° 51°	38°20' 46°	90°	>90° >90°	>90° >90°				B'' B'
	10	20°	13° 11°30'	15°20' 18°40'	60°	59° 71°	— 56°	82°	82° 88°	82°20' ≥90°	B'' B'
	15	12°	13° 12°30'	10°45' 13°	45°	42°30' 42°30'	42°30' 50°30'	64°	62° 62°	59° 65°	B'' B'
	20	8°30'	7°30' 6°30'	8° 8°	34°	34°15' 33°40'	36°30' 35°30'	66°30'	68° 71°	69°30' 68°	B'' B'
	25	6°	5°	7°	28°	28°	28°	43°	44°/60°	46°20'	B''
	30	5°	4° >4°	8°30' 7°	22°	22°40' 20°30'	21°45' 25°	38°	36°30' 31°/42° 30'	38°40' 42°30'	B'' B'
Comparaison des amplitudes	5	1			0,25	0,11 0,34	0,18 0,24				B'' B'
	10	1			0,12	0,08 0,06	≈0 0,15	0,16	0,13 0,06	0,09 0,09	B'' B'
	15	1			0,35	0,40 0,36	0,31 0,34	0,14	0,32 0,20	0,16 0,165	B'' B'
	20	1			0,57	1,0 0,3	0,70 0,36	0,24	0,19 0,29	0,26 0,24	B'' B'
	25	0,77	0,07	0,82	1			0,48	0,22/0,33	0,51	B''
	30	0,10	0,07 0,22	0,26 0,31	1			0,56	0,46 0,77/1,4	0,57 0,54	B'' B'

les plus importants ainsi que les rapports d'amplitudes des lobes secondaires au lobe principal, calculés et mesurés.

L'écart entre la valeur théorique et la valeur mesurée est, pour les fréquences de 15 Mc/s et au-dessus, inférieur à 3° pour le lobe principal et, en général, inférieur à 4° pour les lobes secondaires importants; ces différences étant de l'ordre de précision des mesures, il n'est pas possible de constater un avantage en faveur de l'une ou l'autre des antennes. L'amplitude des lobes secondaires correspond en général bien à la valeur calculée, tout particulièrement pour l'antenne III.

Pour 5 et 10 Mc/s, les différences sont plus grandes que pour les fréquences supérieures. Cela s'explique par le fait que les dimensions des antennes sont relativement faibles pour ces longueurs d'ondes et que, par conséquent, les hypothèses faites ne sont plus suffisantes. On notera également que, pour les fréquences supérieures, on mesure un plus grand nombre de lobes que théoriquement prévu; ces lobes proviennent d'interférences dues en partie aux irrégularités du terrain, mais principalement à la présence d'antennes voisines. Il est évident que les cou-

rants des antennes I et III, antennes ayant un sommet commun et étant par conséquent très voisines l'une de l'autre, réagissent l'un sur l'autre et modifient ainsi le diagramme théorique.

V. Réflexion au sol

Un fait ressort également de l'examen de ces diagrammes: ce sont les grandes variations du signal qui se produisent pour de très petites variations de l'angle d'incidence quand celui-ci est inférieur à une dizaine de degrés. Ces variations sont visibles pour les fréquences de 10 à 30 Mc/s quand l'avion se trouve à une distance de 9 à 18 km à l'ouest des antennes. La figure 9 est la reproduction d'une partie de l'enregistrement pour la fréquence de 20 Mc/s, antenne III, entre 7 et 21 km de l'émetteur. On y voit les impulsions marquant la position de l'avion aux distances 21,2, 13,75 et 7,0 km de la station de réception, points déterminant l'échelle des distances horizontales et, à gauche, l'échelle des tensions d'entrée.

Ces variations du champ proviennent de la réflexion de l'onde incidente sur le flanc nord-ouest de la vallée de la Broye. La figure 10 donne le profil du terrain dans l'axe de l'antenne. En admettant que la

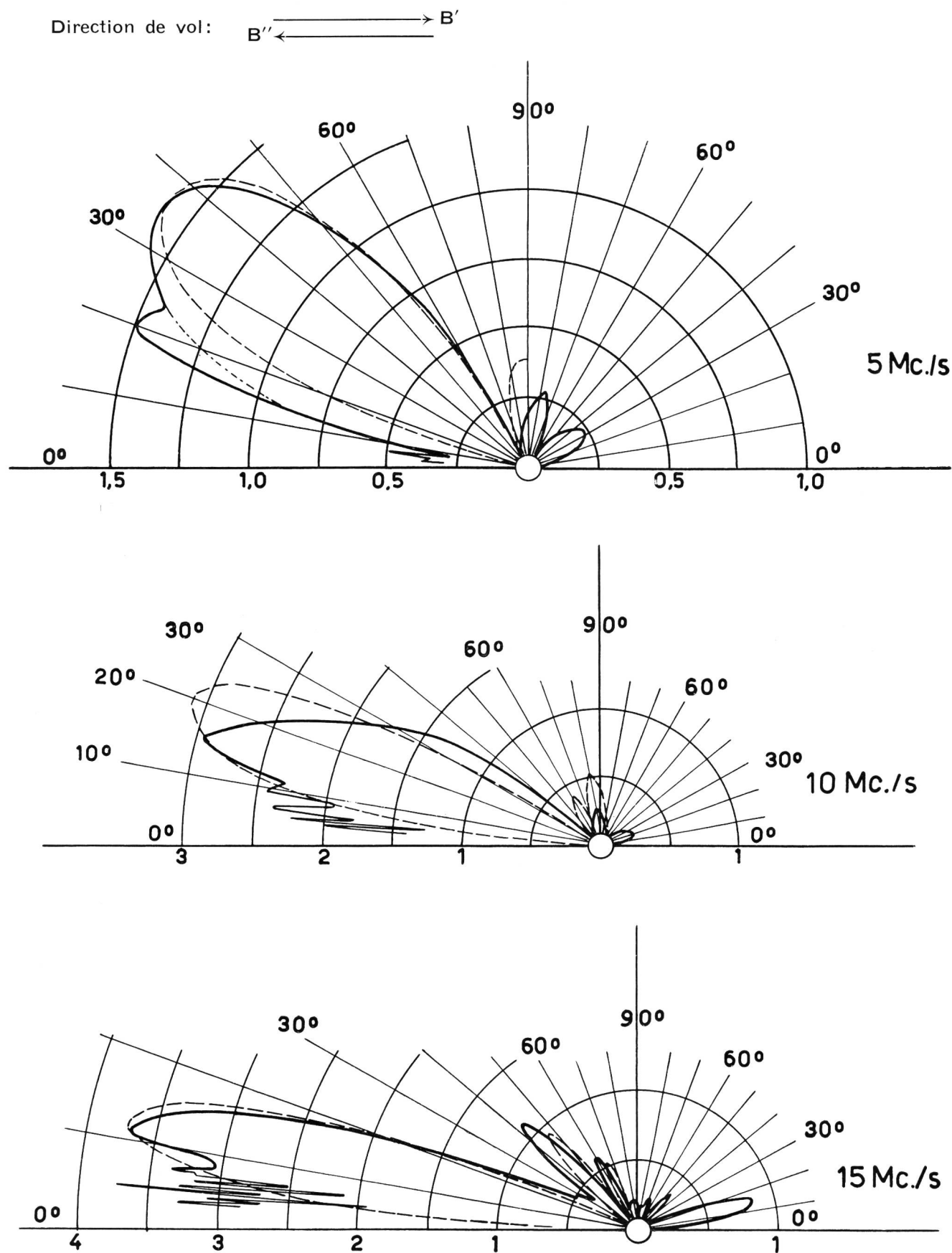


Fig. 3 à 5. Intensité relative du signal reçu dans le plan vertical contenant l'axe de l'antenne pour les fréquences de 5, 10 et 15 Mc/s.

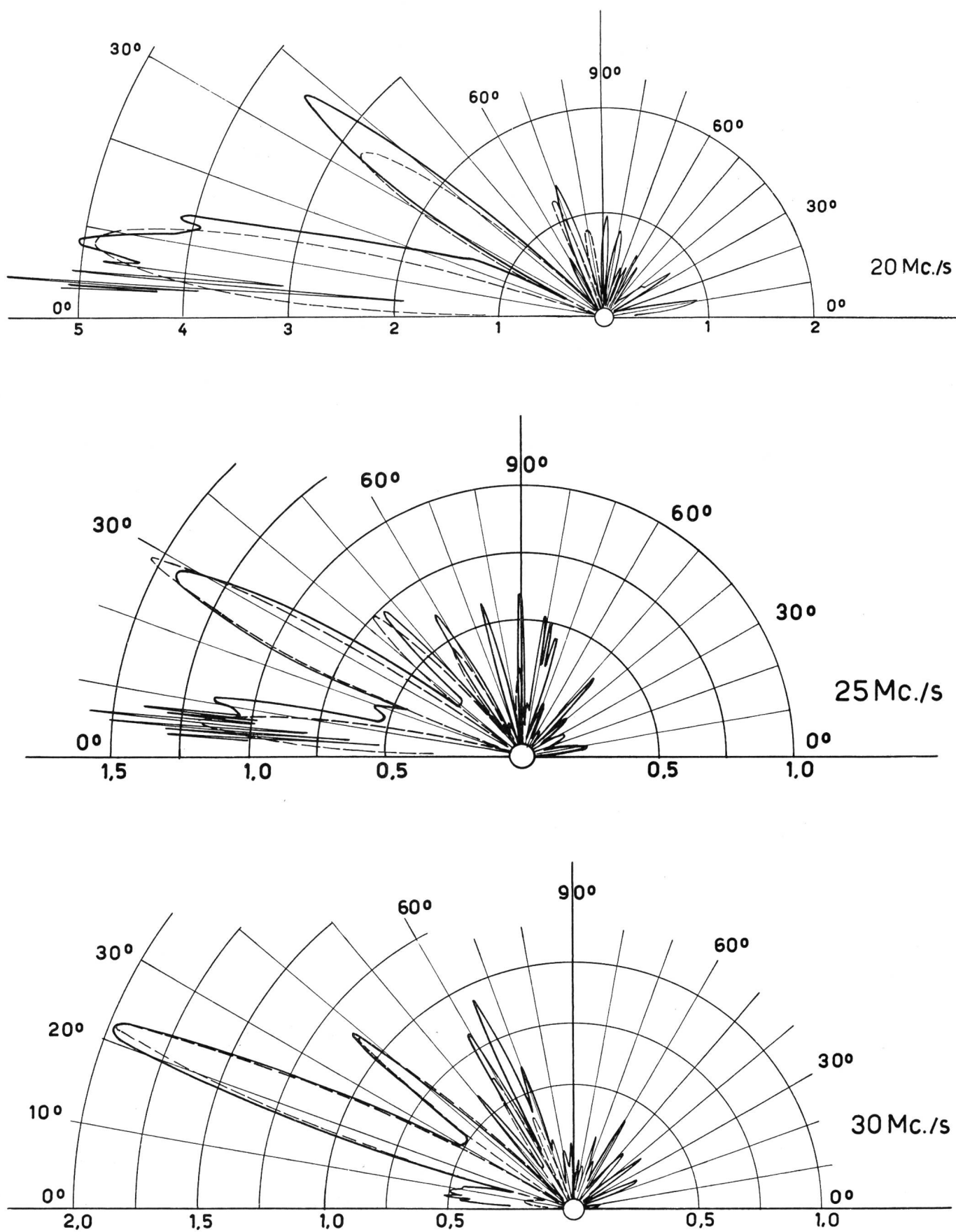


Fig. 6 à 8. Intensité relative du signal reçu dans le plan vertical contenant l'axe de l'antenne pour les fréquences de 20, 25 et 30 Mc/s.

Antenne rhombique III

— valeur mesurée, ---- valeur théorique

réflexion se fasse au point R, on peut calculer les interférences entre le rayon direct D_1 et le rayon réfléchi $d_1 d_2$. On trouverait par exemple, quand l'avion se rapproche du km 15 au km 11, $\frac{70}{\lambda}$ périodes d'interférences. Le tableau III donne la correspondance entre cette valeur prévue, $\frac{70}{\lambda}$, et la valeur relevée sur les enregistrements, N. La dernière colonne, à droite, donne l'importance relative de cette réflexion en fonction de la fréquence. Nous y avons porté un coefficient de réflexion apparent r défini ainsi :

$$r = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}}$$

Tableau III

Fréquence	Longueur d'onde	Nombre de périodes d'interférences entre 11 et 15 km		Coefficient de réflexion apparent
		calculé	mesuré	
f	λ	$\frac{70}{\lambda}$	N	r
Mc/s	m			
30	10	7	8,0	0,25
25	12,5	5,6	6,2	0,47
20	15	4,7	4,8	0,51
15	20	3,5	3,7	0,30
10	30	2,3	2,2	0,25

Les variations du facteur r avec la fréquence proviennent toutefois moins des variations du coeffi-

cient de réflexion du sol que de la forme du diagramme de réception de l'antenne pour la fréquence en question. C'est le rapport des sensibilités de l'antenne pour l'angle d'incidence θ du rayon direct et pour l'angle d'incidence -1° du rayon réfléchi qui est déterminant.

Une onde arrivant de l'infini sous un angle de θ° présentera une différence de parcours: $\delta = d_2 \cdot [1 - \cos(\theta + 1^\circ)]$ entre l'onde directe et l'onde réfléchie. Pour $\theta = 10^\circ$ on aurait ainsi $\delta = 114$ m, ce qui veut dire qu'entre 0 et 10° on aura environ 11 périodes d'interférences pour une onde de 10 m (30 Mc./s) ou environ 4 pour une onde de 30 m (10 Mc./s).

Si l'on utilisait ces antennes pour des mesures de champ d'ondes arrivant sous faible incidence, il faudrait tenir compte du fait qu'une partie des fluctuations peuvent provenir de la variation de l'angle d'incidence et non seulement de la variation de l'intensité de l'onde. Il est même possible d'utiliser ce phénomène pour la mesure des variations de l'angle d'incidence d'une onde en comparant les fluctuations du champ reçu ainsi avec celui que l'on reçoit en un point où ces interférences ne se produisent pas.

De telles réflexions peuvent jouer un rôle important au voisinage des aérodromes pour les services de localisation des avions et de pilotage sans visibilité. A Cointrin, par exemple, la proximité du Jura pourra provoquer dans certaines directions des effets analogues qu'il faudra prendre en considération le cas échéant.

Ces mesures mettent en évidence une très bonne concordance entre les diagrammes mesurés et les

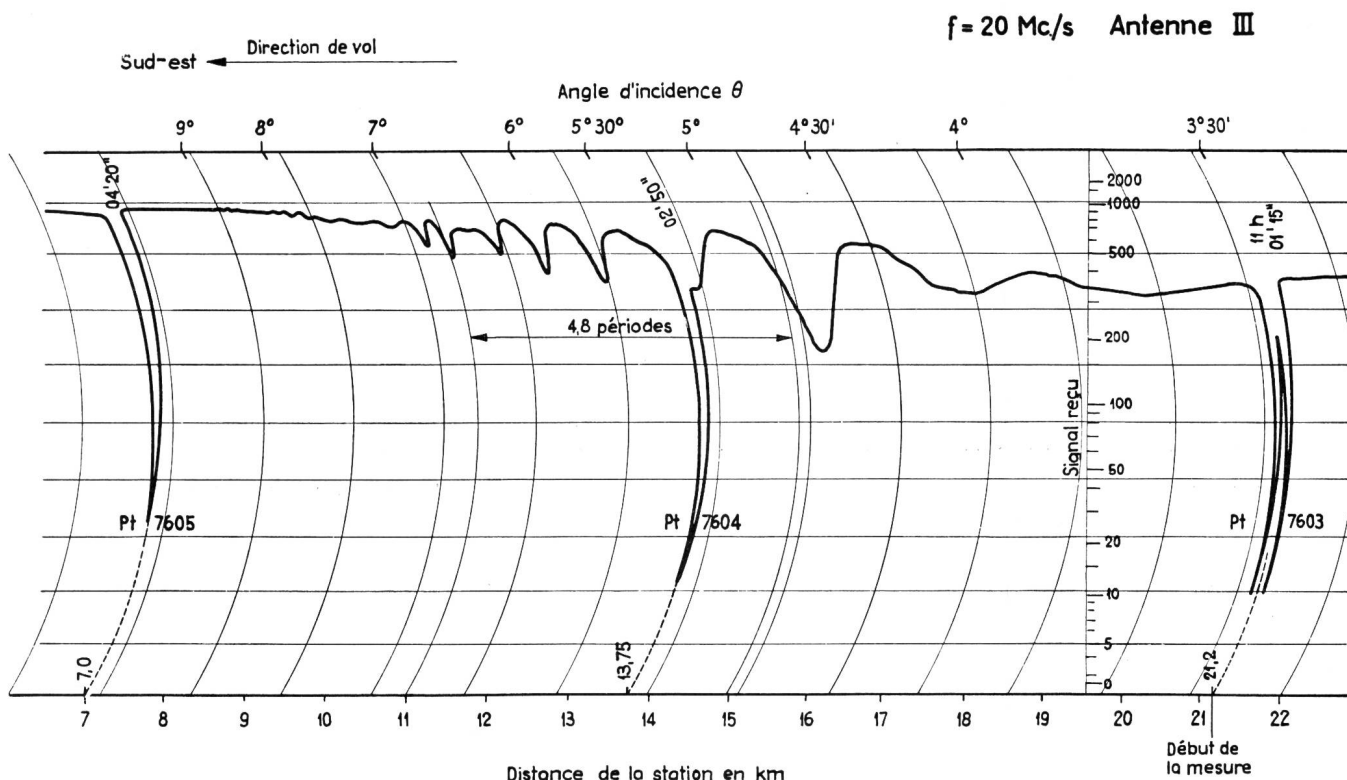


Fig. 9. Exemple d'enregistrement du champ. L'effet de la réflexion au sol est nettement visible, ainsi que les coupures de l'émetteur, synchronisées avec la prise des photographies, et servant à repérer la position de l'avion

