

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: 62 (1984)

Heft: 12

Artikel: Automatisation des mesures de diagrammes de rayonnement d'antennes d'émission à l'aide d'hélicoptères

Autor: Wicht, Henri-Joseph

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875811>

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: 03.05.2026

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

Automatisation des mesures de diagrammes de rayonnement d'antennes d'émission à l'aide d'hélicoptères

Henri-Joseph WICHT, Berne

Automatisierung der Messung der Strahlungsdiagramme von Sendeantennen mit Helikoptern

Zusammenfassung. *Seit mehr als 20 Jahren führt die Abteilung Forschung und Entwicklung der Generaldirektion PTT Messungen der Strahlungsdiagramme der Rundfunkantennen am Sendeort mit Helikoptern durch. Die stetigen Fortschritte in der Antennentechnik und die Zuteilung zusätzlicher Aufgaben waren der Ursprung eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes, das zum Ziel hatte, die Genauigkeit und die Schnelligkeit der Messungen durch Automatisierung zu verbessern.*

Résumé. La Division des recherches et du développement effectue depuis plus de 20 ans les contrôles des diagrammes de rayonnement des antennes de radiodiffusion sur leur site d'émission à l'aide d'hélicoptères. Les progrès constants dans le domaine des antennes d'émission et des mesures de rationalisation ont été à l'origine d'un projet de recherche et de développement destiné à améliorer la précision et la rapidité de ces mesures grâce à l'automatisation.

Automatizzazione delle misurazioni dei diagrammi d'irradiazione di antenne di trasmissione mediante elicotteri

Riassunto. *Da più di 20 anni la divisione ricerche e sviluppo controlla mediante elicotteri i diagrammi d'irradiazione di antenne di radiodiffusione nelle loro zone di trasmissione. In seguito ai costanti progressi nel campo delle antenne di trasmissione e all'aumento dei compiti affidati al gruppo, si è studiato e sviluppato un progetto che, grazie all'automatizzazione, consente di migliorare la precisione e la rapidità delle misurazioni.*

1 Historique du projet

11 Objectif des vols

Les mesures des caractéristiques de rayonnement d'antennes de radiodiffusion sur le site d'émission représentent depuis de nombreuses années un des aspects principaux de l'activité du groupe «Émetteurs et antennes». Le but de ces mesures, qui est de vérifier la conformité des antennes d'émission à leurs spécifications, est un des volets de l'activité de la Division principale des recherches et du développement qui, en tant qu'autorité neutre, est chargée des essais du matériel livré aux PTT. Il est en effet indispensable de s'assurer que les antennes fournissent effectivement la puissance rayonnée nécessaire à la bonne couverture de leur zone de service et, dans le cas d'antennes devant rayonner dans des directions précises, de contrôler si le rayonnement maximal se situe bien dans les azimuts désirés. Ce dernier point est particulièrement important quand on considère, par exemple, les chaînes de réémetteurs TV alimentés par certains émetteurs ou les zones de service de stations à usages multiples, telles que Ravoire ou Valzeina.

12 Historique des vols

Les premiers contrôles d'antennes d'émission ont été faits au moyen de mesures au sol dans différents azimuts de la zone de service théorique. Ce procédé de mesure a donné à l'époque d'excellents résultats et a permis d'acquérir des renseignements de grande valeur sur les phénomènes de propagation des ondes radio-électriques. Cependant, il est coûteux en temps et en matériel, vu la nécessité de choisir un grand nombre de points de mesure pour obtenir une image statistique exacte et vu la difficulté d'accès de certains de ces points.

C'est pourquoi, très rapidement, des avions puis des hélicoptères ont été engagés pour les mesures d'antennes d'émission in situ. Ces nouveaux moyens offrent les

avantages suivants: rapidité, exactitude, conditions de propagation libre. Le premier vol de mesure effectué par les PTT avec un hélicoptère a eu lieu en 1959, pour la mesure de l'antenne TV canal 4 de la Dôle. A ce jour, 26 stations de radiodiffusion ont fait l'objet de vols, plus de 100 antennes d'émission ou fréquences différentes ont été mesurées. Parmi ces stations, on trouve aussi bien les émetteurs à ondes moyennes (Sottens, Beromünster) et à ondes courtes (Sarnen, La Lenk) que des émetteurs OUC et TV.

13 Technique de mesure

Les relevés s'effectuent à l'aide de figures de vol bien déterminées qui diffèrent selon le type d'antennes mesurées. Les antennes d'émission TV et OUC sont situées sur des hauteurs. Il est donc possible de déterminer le diagramme de rayonnement horizontal en décrivant un cercle autour du site d'émission à une distance et une altitude aussi constantes que possible. La distance entre l'hélicoptère et le site d'émission est donnée par la double condition: être en dehors du champ proche de l'antenne et éviter l'influence du sol. Cette double limitation conduit à une distance optimale de l'ordre de 2 km. L'altitude de vol est donnée par l'angle de rayonnement vertical maximal. Pour la mesure du diagramme vertical, l'hélicoptère décrit un vol ascensionnel à la verticale d'un ou de plusieurs points donnés. Ce ou ces points se trouvent en général dans des maximums de rayonnement horizontal.

Les figures de vol décrites ci-dessus ne sont pas nécessairement applicables pour les mesures d'antennes d'émission à ondes moyennes et courtes. Sauf pour les antennes rideaux, il est nécessaire d'effectuer ces relevés pour des angles d'élévation allant de l'horizontale au zénith. C'est pourquoi on utilise une troisième figure de vol qui consiste à survoler le site d'émission en ligne droite en suivant un cap déterminé. Ces survols ont lieu à des altitudes différentes et pour plusieurs caps.

Durant les vols, le champ électrique ou la tension induite aux bornes d'une antenne de réception sont mesurés et enregistrés. Sont également inscrites sur la bande d'enregistrement les informations nécessaires à la reconstitution du vol, soit l'altitude, l'azimut et le cap. Ces informations sont enregistrées sous la forme d'impulsions et consignées par un opérateur. Elles correspondent à des points de repère au sol ou à la lecture d'instruments (essentiellement l'altimètre).

2 Objectifs du projet

L'automatisation des mesures de diagramme de rayonnement d'antennes d'émission a pour objectif principal l'amélioration de la précision des mesures. Elle permet aussi de réaliser des économies de temps et de personnel.

21 Sources d'erreur

On peut distinguer deux types d'erreur: les erreurs «électriques» et les erreurs «géométriques». Par erreurs «électriques» il faut comprendre celles qui sont dues au dispositif de mesure lui-même: tolérances du récepteur, gain de l'antenne de réception, pertes des câbles et désadaptation. On peut citer également dans cette catégorie les erreurs de mesure dues à des facteurs extérieurs au système, telles que l'influence de la masse métallique de l'hélicoptère sur le diagramme de l'antenne de réception ou l'influence du relief environnant le site d'émission (aux basses fréquences surtout).

Par erreurs «géométriques» on entend les erreurs de mesure causées par l'incertitude dans la détermination de la position de l'hélicoptère par rapport au site d'émission. En coordonnées polaires, trois paramètres sont nécessaires, à savoir la distance, l'azimut et l'élévation. La position relative de l'hélicoptère dans l'espace est, en outre, définie par ses trois axes de liberté: cap, roulis et tangage. (Le roulis et le tangage déterminent l'assiette de l'hélicoptère.) La détermination de la distance et de l'azimut se fait à l'aide de repères au sol (chalets isolés, croisées de chemins, etc.). Plus la hauteur de vol est grande, plus le survol exact de ces points de repère est difficile. De plus, pour des raisons pratiques, il n'est pas possible de choisir plus de 15 à 20 points de repère dans un périmètre de 2 km de rayon. On obtient donc une résolution d'environ 20 degrés. Entre ces points de repère survolés relativement précisément il est donc nécessaire d'interpoler la trajectoire de vol en admettant une vitesse constante et en supposant que le pilote a suivi la trajectoire circulaire idéale. Une altitude de vol variable peut être à l'origine d'erreurs de mesure importantes, surtout pour des antennes d'émission TV UHF, dont le diagramme vertical peut être très pointu. Si l'altitude de vol est enregistrée, ce type d'erreur peut être reconnu et compensé. Parmi les trois axes de liberté qui déterminent la position relative de l'hélicoptère, seul le cap peut causer une erreur de mesure importante. En effet, pour des raisons de sécurité, les antennes de réception sont fixées sur un mât horizontal situé dans l'axe de l'appareil. Elles ne peuvent pas être dirigées manuellement vers le site d'émission. Des erreurs peuvent donc intervenir lorsque le pilote doit compenser des vents latéraux (fig. 1). Afin que de telles erreurs soient reconnues, le

cap de l'hélicoptère est d'ores et déjà mesuré et enregistré à l'aide d'un système ADF (Automatic Direction Finder).

22 Possibilités d'améliorations

Les erreurs «électriques» sont pour la plupart systématiques. Elles limitent donc l'exactitude absolue des mesures, en l'occurrence le calcul de la puissance rayonnée, mais elles influencent beaucoup moins l'exactitude relative des mesures (forme du diagramme). Diverses précautions permettent de réduire ces erreurs: calibration du dispositif de mesure, utilisation de matériel de haut de gamme.

Contrairement aux erreurs «électriques» les erreurs «géométriques» influencent à la fois l'exactitude absolue et relative des résultats. La trajectoire de vol varie nécessairement d'une fois à l'autre. Ces erreurs peuvent être compensées à condition que l'on connaisse la position précise de l'hélicoptère par rapport au site d'émission pour chaque valeur de champ électrique ou de tension d'antenne mesurée. Il devient alors possible de corriger la mesure en la ramenant à la valeur qui aurait été relevée sur la trajectoire idéale.

On voit donc que l'on peut théoriquement améliorer l'exactitude des mesures en la ramenant aux tolérances du dispositif de mesure en ce qui concerne la valeur absolue et aux tolérances d'un système de localisation d'un hélicoptère dans l'espace en ce qui concerne la valeur relative.

3 Choix d'un système de radiolocalisation

31 Cahier des charges

L'objectif principal du projet est d'améliorer la précision des mesures. Un deuxième objectif réside également

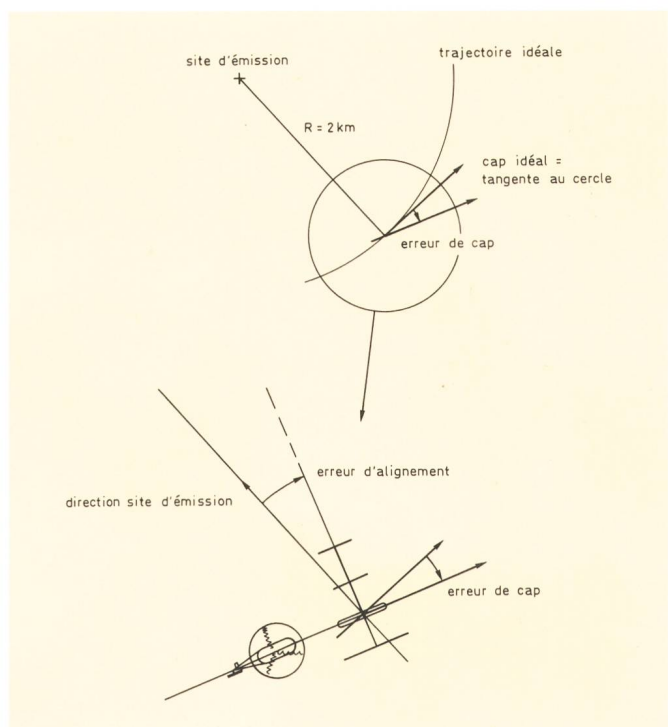


Fig. 1
Erreur d'alignement de l'antenne de réception pour un vol circulaire

dans l'économie de personnel et de temps. Le premier fixe donc les exigences de précision du système de localisation, tandis que le second détermine le cadre matériel et logiciel.

L'exactitude de la localisation doit être telle que les erreurs «géométriques» deviennent négligeables par rapport aux erreurs «électriques». L'hélicoptère doit pouvoir être localisé avec une précision de 30 mètres par rapport au site d'émission. Cela correspond à une résolution inférieure à 1° en azimut et en élévation et à une erreur relative de 0,05 dB en distance (2 km).

Le système de localisation doit pouvoir être intégré dans un système piloté par ordinateur et ne nécessiter aucune assistance humaine au sol. Une mise en place simple sera sa caractéristique principale: il doit pouvoir être embarqué dans l'hélicoptère et installé rapidement par une seule personne. Enfin il doit pouvoir être utilisé sur tous les sites d'émission connus.

32 Choix d'un système

Les possibilités de localiser un avion ou un hélicoptère dans l'espace ne manquent pas: radars, systèmes de navigation VLF et VHF, plates-formes inertielles ou pilotes automatiques, tous ces systèmes sont largement répandus et utilisés. Cependant ils sont soit destinés à la navigation à longue distance – donc ils offrent des précisions de l'ordre du kilomètre – soit ils exigent une importante infrastructure au sol. Ils ne correspondent donc pas aux exigences posées dans le cas particulier. De plus leur prix est prohibitif.

Il existe des applications comparables à celle utilisée ici, dans la cartographie aérienne, la recherche glaciologique ou pétrolière et la surveillance portuaire. Dans ces cas, une connaissance précise de la position d'un avion, d'un hélicoptère ou d'un bateau est requise dans un es-

pace relativement restreint. Pour ce genre d'applications, on a développé des systèmes de localisation très précis basés sur le principe du télémètre-radar: un interrogateur situé à bord d'un objet mobile envoie un train d'impulsions codées vers des balises posées au sol. Chacune des balises répondant à un code propre, on détermine la distance entre interrogateur et balises par le laps de temps écoulé entre l'interrogation et la réception de la réponse. Connaissant la distance par rapport à plusieurs balises, on peut calculer la position de l'interrogateur (fig. 2). La portée de tels systèmes peut aller jusqu'à 200 km, leur exactitude est de l'ordre de 2 m.

Le choix s'est donc porté sur un système télémètre-radar Mini Ranger III de *Motorola*, travaillant en bande C (5,4 GHz), d'une portée maximale de 36 km et d'une exactitude de 2 m. Ce système est facilement transportable et peut être mis en service rapidement par une seule personne. Il faut noter que l'exactitude globale de la localisation dépend surtout de la capacité de déterminer de façon précise les coordonnées exactes des balises, plutôt que des performances du télémètre-radar.

4 Réalisation du projet

Le système de mesure automatique est composé de trois unités: les appareils de mesure du champ électrique, le système de localisation et, reliant les deux premières, l'ordinateur et sa périphérie.

41 Mesure du champ électrique

On distingue entre les fréquences inférieures à 30 MHz (ondes moyennes et courtes) et celles situées entre 30 et 1000 MHz (radiodiffusion sonore, MF-OUC et télévision, communications VHF et UHF).

Le dispositif de mesure de 30 à 1000 MHz est représenté dans la figure 3. On enregistre la tension induite aux bornes d'une antenne de réception à l'aide d'un récepteur de mesure piloté par ordinateur.

Pour les fréquences inférieures à 30 MHz, on utilise deux dispositifs. Le premier fait appel à des sondes omnidirectionnelles à large bande particulièrement adaptées aux mesures d'émetteurs puissants. Ces sondes mesurent le champ électrique effectif rayonné par l'antenne (somme vectorielle des composantes). Afin que les sondes soient isolées de la masse métallique de l'hélicoptère, elles sont fixées à un mât en bois, électriquement neutre, et reliées par fibre optique à un répéteur situé dans la baie de mesure (fig. 4). Ce dispositif élimine aussi tout risque de tensions HF induites dans les câbles d'antenne, qui sont difficilement évitables en présence de champs électromagnétiques aussi puissants. Lorsque les champs sont plus faibles, on dispose d'un récepteur de mesure sélectif programmable. Dans ce cas, chacune des composantes du champ est mesurée séparément avec des antennes-cadre usuelles.

42 Mesure de la position

Le calcul de la position est assuré par trois appareils. La distance et l'azimut sont mesurés à l'aide du système de radio-localisation Mini Ranger III (un interrogateur et trois balises), l'altitude est enregistrée séparément à

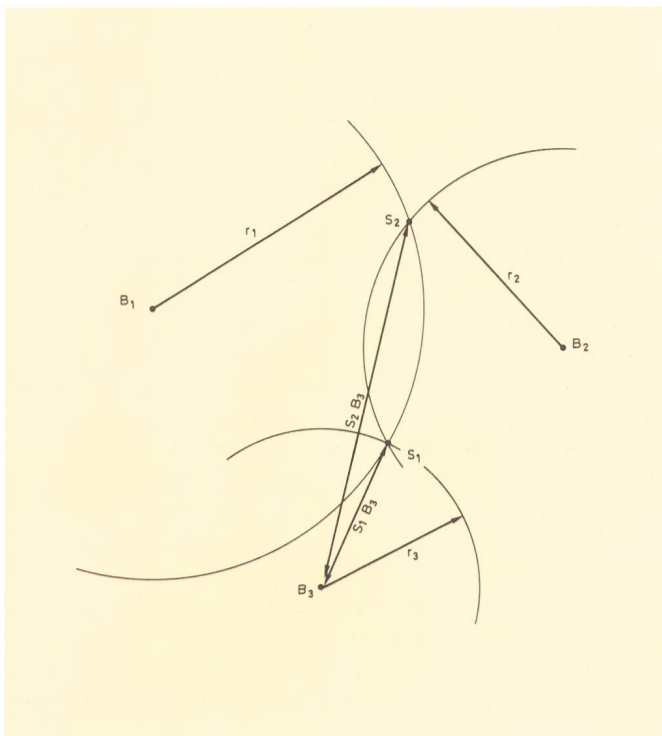


Fig. 2
Localisation avec télémètre-radar

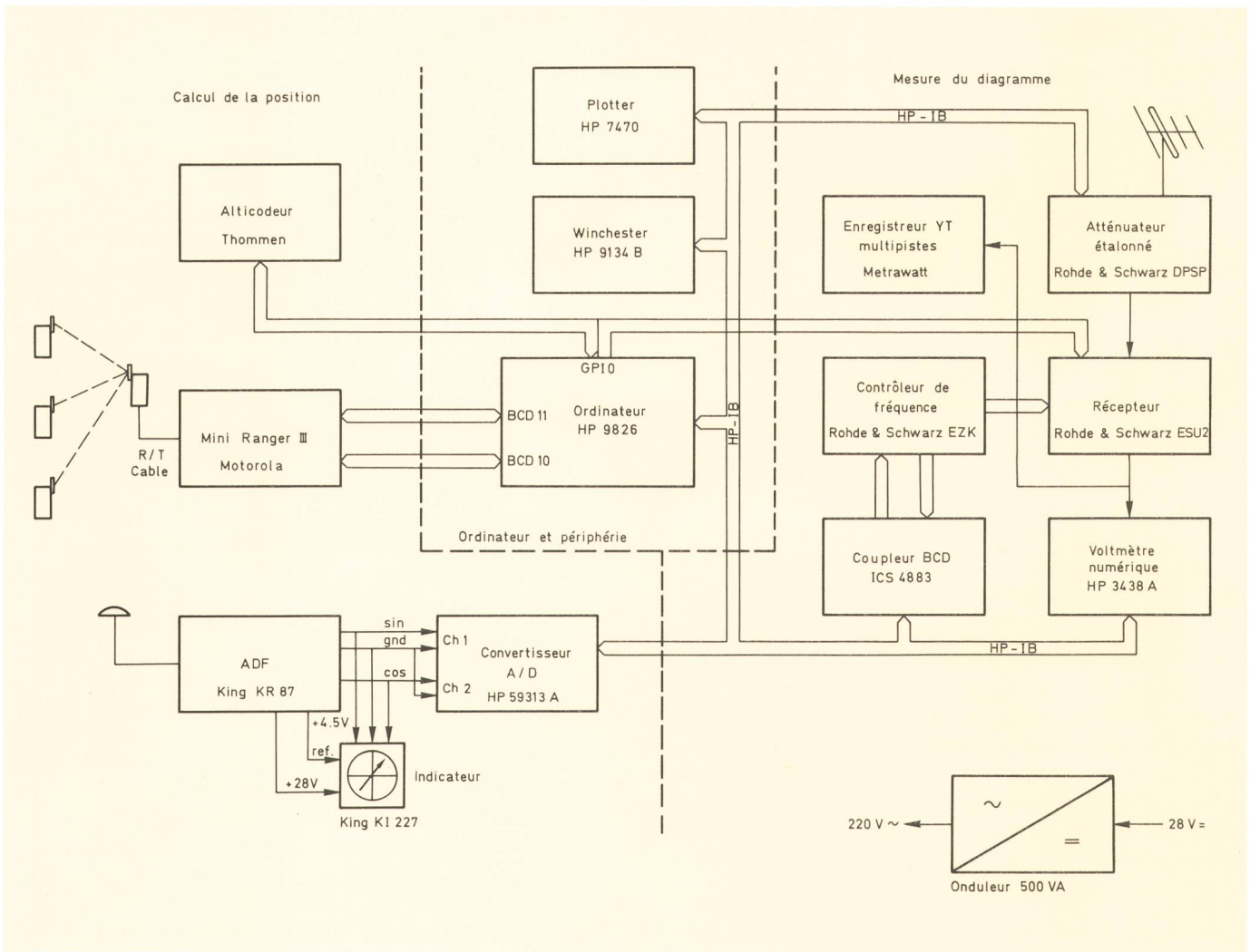


Fig. 3
Équipement de mesure automatique de 30 à 1000 MHz

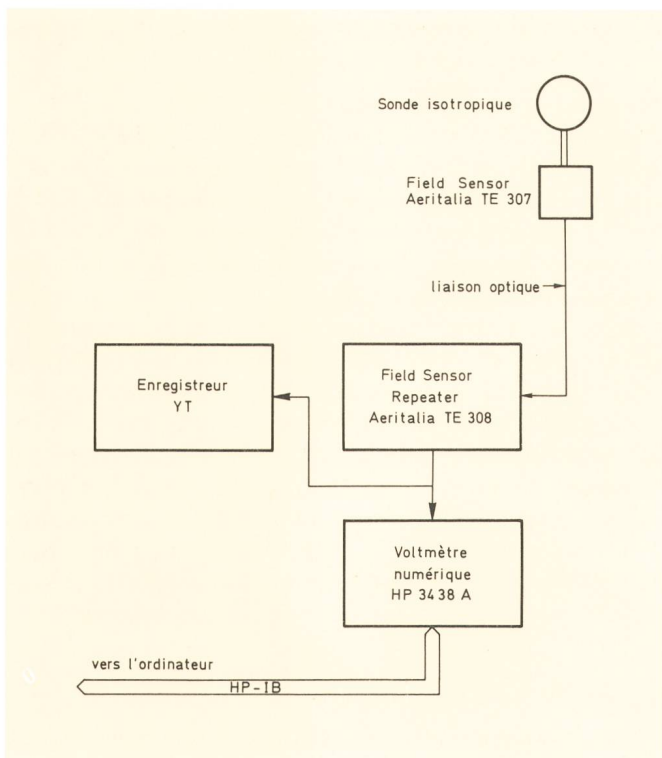


Fig. 4
Mesure du diagramme pour les fréquences inférieures à 30 MHz avec sonde isotropique

l'aide d'un altimètre *Thommen* muni d'une sortie numérique. Le cap est mesuré avec un appareil *ADF King KR 87*.

43 Ordinateur et sa périphérie

L'ordinateur embarqué (HP 9826) a les fonctions suivantes: contrôle des interfaces et commande des appareils, calcul de la position en temps réel, enregistrement des données de vol et des valeurs de champ électrique ou de tension d'antenne mesurées. Il a en outre été programmé pour le traitement automatique des données et permet la représentation des diagrammes mesurés et le calcul de la puissance rayonnée immédiatement après chaque vol. Les données sont enregistrées, soit sur disques flexibles, soit sur un disque Winchester d'une capacité de 10 MBytes.

5 Conclusions

Avec ce système de mesure automatique des diagrammes d'antennes d'émission in situ, on dispose d'un outil de travail performant qui permettra, d'une part, d'améliorer de façon décisive la précision des mesures en hélicoptère et, d'autre part, de contribuer à l'optimisation des antennes d'émission de radiodiffusion (puissances et diagrammes).