

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 72 (1946)
Heft: 14

Artikel: Relèvement de position au moyen d'ondes électromagnétiques
Autor: Quervain, A. de
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-54630>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.01.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :Suisse : 1 an, 17 francs
Etranger : 20 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 14 francs
Etranger : 17 francsPrix du numéro :
75 centimesPour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; † E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; Ch. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

**Publicité :
TARIF DES ANNONCES**Le millimètre
(larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions
de pages.En plus 20% de majoration de guerre
Rabais pour annonces
répétées.ANNONCES-SUISSES S.A.
5, rue Centrale
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE : *Relèvement de position au moyen d'ondes électromagnétiques*, par le Dr A. DE QUERVAIN, Zurich. — Société suisse des ingénieurs et des architectes : *Procès-verbal de l'assemblée des délégués du samedi 13 avril 1946*. — Association amicale des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de Lausanne : *Assemblée générale annuelle du 8 juin 1946*. — X^e Congrès du Rhône : *Programme des conférences*. — Société vaudoise des ingénieurs et des architectes : *Assemblée extraordinaire du 12 juillet 1946*. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT. — NOUVEAUTÉS - INFORMATIONS DIVERSES.

Relèvement de position au moyen d'ondes électromagnétiques

par le Dr A. DE QUERVAIN, Zurich.

Nous jugeons opportun de reproduire ici un article paru dans le numéro du mois d'avril d'Interavia-Revue de l'Aéronautique mondiale¹ et nous saisissons cette occasion pour signaler à nos lecteurs la récente création de ce périodique qui constitue une source remarquable d'information pour tout ce qui touche à la construction aéronautique et à l'exploitation des lignes de navigation aérienne. (Réd.).

En principe, les exigences formulées actuellement dans l'aviation en ce qui concerne les dispositifs de détermination de position dépassent de beaucoup, à la fois pour la précision et pour la sûreté, les possibilités de l'œil humain qui fut primitivement l'unique moyen d'orientation. On exige en effet :

1. La détermination aussi précise que possible de la position d'un avion, faite depuis le sol. Cette détermination de position doit pouvoir s'effectuer de deux manières différentes :

- détermination de position sans le concours de l'équipage de l'avion, c'est-à-dire sans installation spéciale à bord de l'aéronef. Cette méthode a avant tout un caractère militaire car elle doit pouvoir être appliquée aux avions ennemis. Elle entre toutefois en ligne de compte pour les besoins civils ;
- détermination de position à partir du sol mais avec le concours de certaines installations complémentaires à bord de l'aéronef. Cette manière de procéder se prête en principe aux applications militaires (guidage des

propres avions ou formations) aussi bien qu'aux emplois civils.

2. La détermination aussi précise que possible exécutée à bord de l'aéronef, par rapport à des points fixes au sol. Dans ce chapitre rentre aussi la détermination de l'altitude indépendamment de la pression atmosphérique. Ici encore nous trouvons deux possibilités de détermination de position : sans le concours d'installations au sol et avec le concours d'installations de ce genre qui, dans certains cas, doivent posséder une très grande portée.

3. Le guidage d'un avion le long d'un « rayon directeur » ou d'une courbe de guidage, établis d'avance. Présenté sous cette forme, ce postulat ne comprend qu'indirectement la détermination de position, car d'emblée on impose à l'avion l'obligation de répondre constamment à certaines données qui caractérisent ces courbes de guidage. En remplissant cette dernière obligation, la circulation des avions acquiert un caractère analogue à celui de la circulation routière.

Toutes ces exigences sont particulièrement importantes lorsqu'il s'agit de permettre l'atterrissage (aussi bien que le décollage d'ailleurs) par mauvaise visibilité. Pour le moment, nous laisserons toutefois de côté le problème de l'atterrissage aux instruments.

Nouvelles méthodes de détermination de position et leur historique.

Le développement considérable de l'aviation depuis 1930, et spécialement pendant la deuxième guerre mondiale, a eu pour conséquence de multiplier les exigences relatives à l'exactitude avec laquelle des positions pouvaient être déterminées.

Le problème de la détermination de position d'avions, sans leur participation active (c'est-à-dire sans installations spéciales à bord), a exercé une influence primordiale sur l'issue de la guerre. On a reconnu depuis longtemps déjà qu'il

¹ Copyright 1946 by Interavia S. A. Genève (Suisse).

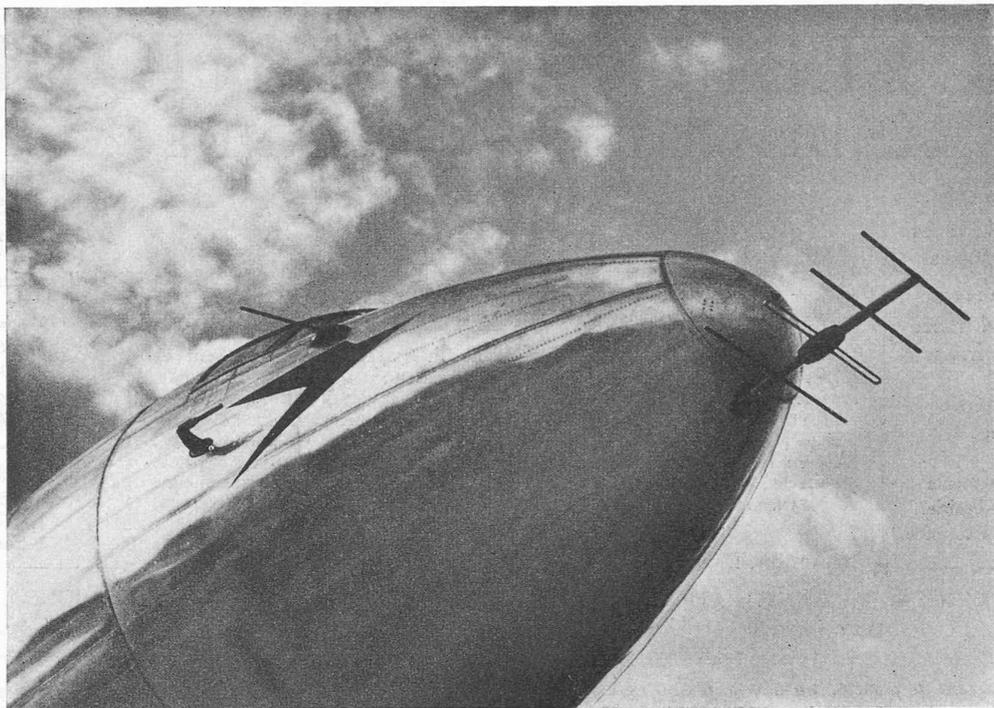


Fig. 1. — Antenne de Radar sur le nez de l'avion britannique de transport Avro Tudor I.

était possible de satisfaire aux conditions imposées, en partant de principes nouveaux. Ainsi en 1923 déjà, on a proposé dans un brevet américain de déterminer la distance d'un objet ayant des propriétés réfléchissantes, en envoyant des trains d'ondes électromagnétiques et en mesurant le temps que mettent ces impulsions à parcourir le chemin aller et retour.

Peu de temps après, les hauteurs des différentes couches réfléchissantes de l'ionosphère, située au-dessus de l'atmosphère, furent mesurées d'après ce procédé aux U. S. A. (Breit & Tuve), et d'après un procédé analogue en Angleterre (Appleton). Ces mesures permirent de déterminer la hauteur de ces couches s'élevant jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres (couche de Heaviside, couche d'Appleton).

Un autre problème consistant à diriger les ondes électromagnétiques en faisceau, comme la lumière d'un projecteur, fut également résolu en principe. Les conditions théoriques permettant de résoudre ce problème étaient analogues à celles qui interviennent dans l'optique. Déjà, lors de ses premiers essais, Heinrich Hertz avait prouvé en 1890 la possibilité de diriger les ondes électromagnétiques. Il démontra également que ces ondes étaient réfléchies par des objets métalliques.

Cependant il y avait encore un long chemin à parcourir pour réaliser pratiquement des appareils capables de déterminer la position d'avions. Les premiers appareils utilisables, basés sur le principe de la réflexion des ondes émises, furent réalisés, en Angleterre et aux U. S. A. d'abord, en Allemagne ensuite en 1935 environ, époque à laquelle les méthodes radiogoniométriques étaient déjà très développées et appliquées pratiquement. Le perfectionnement de ces appareils était un problème purement technique touchant plus particulièrement la production et la réception d'ondes très courtes. Une installation travaillant déjà avec des ondes très courtes, et utilisée pour la détection de navires, fut installée en 1935 à bord du « Normandie ».

Tous les procédés utilisant les propriétés de réflexion des ondes électromagnétiques pour la détection d'objectifs fixes ou mobiles, sont désignés sous le nom de « radiolocation » ou de « radar » d'après la désignation américaine (radio detecting and ranging). Il est à rappeler que la radiogoniométrie n'est pas une appellation générale pour tous les procédés de détermination de position, y compris la détection radioélectrique ; elle désigne spécialement et exclusivement les procédés basés sur la détermination, à l'aide d'antennes à cadre mobile, de la seule direction de la source d'énergie des ondes électromagnétiques. Ainsi aux U. S. A. la différence est faite entre « radio detecting ranging » que nous désignerons par détection radioélectrique, et « radio direction finding » = radiogoniométrie.

Principes de la détection radioélectrique.

Ondes réfléchies et diffusées.

La détection radioélectrique utilise, comme nous l'avons déjà mentionné, le propriété de certaines matières de réfléchir les ondes électromagnétiques, lorsque ces substances se différencient du milieu environnant.

Examinons le cas le plus simple de deux milieux séparés par une surface plane, par exemple (fig. 2) à gauche du plan de l'air, et à droite un mur lisse et homogène. Une partie des ondes incidentes est réfléchi, l'autre partie est réfractée et pénètre dans le deuxième milieu. Si celui-ci est un métal, l'énergie incidente totale est pratiquement réfléchi, et il n'y a aucune onde réfractée. Pour que le phénomène de la réflexion puisse se produire, il faut encore qu'une autre condition soit réalisée : les dimensions de l'objet réfléchissant doivent être du même ordre de grandeur que la longueur d'onde, ou en tout cas, pas sensiblement plus petites. La longueur d'onde ne doit donc pas être supérieure à 10 m.

Si la surface de l'objet n'est pas plane mais courbée, et si les inégalités de cette surface sont de même dimension que la longueur de l'onde incidente, on ne parle plus d'onde

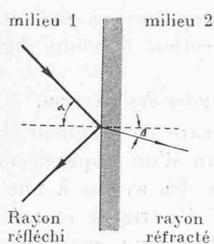


Fig. 2. — Réflexion et réfraction d'une onde électro-magnétique à la surface de contact de deux milieux différents. L'amplitude des ondes réfléchies et réfractées dépend des propriétés de ces milieux.

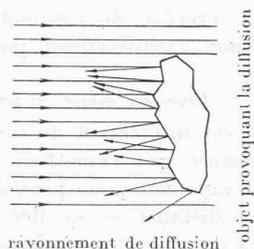


Fig. 3. — Diffusion d'une onde électro-magnétique par un objet irrégulier, dont les dimensions sont grandes par rapport à la longueur d'onde. Une partie de l'énergie diffusée est toujours renvoyée dans la direction de l'onde incidente.

réfléchi, mais d'onde diffusée. L'onde n'est plus réfléchi sous un angle déterminé, mais sous tous les angles possibles (fig. 3).

Dans la diffusion des ondes incidentes, une partie de l'énergie émise revient pratiquement toujours à son point de départ. La forme irrégulière de l'avion (fuselage, ailes) produit toujours une diffusion des ondes incidentes, si bien que l'appareil peut-être pratiquement détecté sous tous les angles.

La direction de l'onde reçue est déterminée comme en radiogoniométrie. La différence réside cependant dans le fait que l'objectif n'est pas la source directe de cette onde, mais l'émetteur secondaire d'une onde primaire émise au sol. Pour obtenir une réflexion efficace, la longueur de l'onde doit être inférieure à 10 m, ce qui n'est pas nécessaire en radiogoniométrie. A cause des propriétés quasi-optiques de ces ondes, une visibilité directe entre l'avion et le dispositif de détection est indispensable.

La « radiolocation » se différencie encore de la radiogoniométrie par une propriété importante : la mesure directe de la distance, que nous allons considérer rapidement.

Mesure de distance

Deux grandeurs déterminantes du train d'oscillations émis peuvent être modifiées dans le temps ; ce sont la fréquence et l'amplitude. Il est possible de mesurer une distance en variant soit l'une soit l'autre de ces grandeurs, mais dans les deux cas, cette mesure se base sur la propriété des ondes électromagnétiques de se déplacer dans l'air à une vitesse constante et exactement connue de 300 000 km/sec. Dans le procédé de modulation de fréquence, la fréquence de l'onde émise est changée dans le temps et entre certaines limites, selon un programme établi ; la fréquence doit, par exemple, augmenter linéairement à partir d'une valeur minimum jusqu'à une valeur maximum puis ensuite diminuer linéairement, etc. (fig. 4 et 5).

Une partie de l'énergie réfléchi par l'avion est reçue par le récepteur. Pour le trajet aller et retour, l'onde a mis un certain temps, et puisque la fréquence de l'onde une fois émise ne peut plus changer (la vitesse de l'avion étant faible par rapport à celle de l'onde), la fréquence de l'onde réfléchi captée par le récepteur est différente de celle émise en cet instant par l'émetteur. La comparaison de ces deux fréquences permet de déterminer la distance, qui est proportionnelle à leur différence. Dans ce procédé, la mesure de distance se ramène donc à une mesure de différence de fréquence. Ce procédé s'avère particulièrement avantageux pour la me-

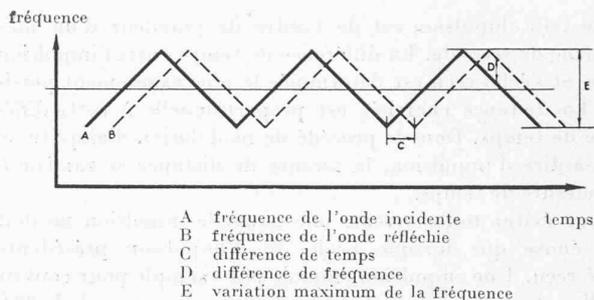


Fig. 4. — Principe fondamental de l'emploi de la modulation de fréquence pour la mesure de distance. La différence de fréquence entre les signaux incident et réfléchi est proportionnelle au temps de propagation et par suite à la distance.

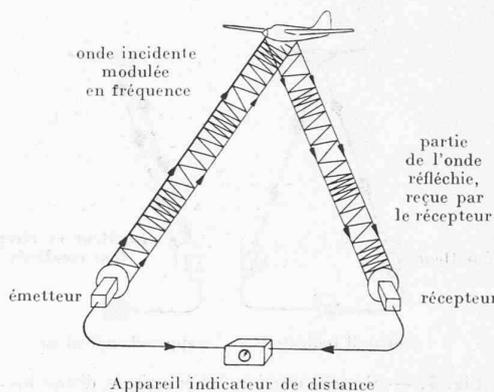


Fig. 5. — Représentation schématique d'une installation de détermination de position d'après le procédé de modulation de fréquence. L'émetteur et le récepteur sont séparés. La distance entre l'émetteur et le récepteur n'a pas besoin d'être grande.

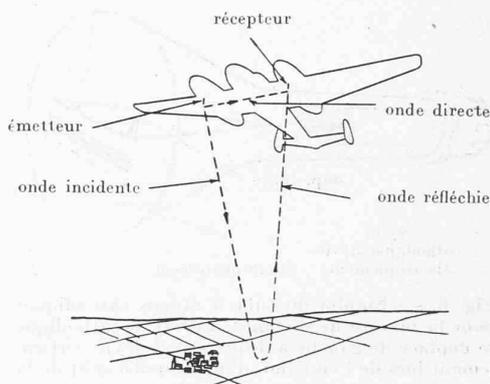


Fig. 6. — Mesure d'altitude d'après le procédé de modulation de fréquence.

sure des courtes distances et est utilisé pour cette raison pour la détermination de l'altitude en avion.

Les antennes d'un émetteur et d'un récepteur à ondes ultra-courtes sont disposées sous les ailes. Le récepteur reçoit simultanément l'onde réfléchi par le sol, et l'onde directe (fig. 6). Un instrument étalonné en altitude est actionné par le récepteur.

Dans le procédé de modulation d'amplitude, la fréquence de l'onde émise reste constante dans le temps mais l'amplitude de l'onde varie. Pratiquement l'onde n'est émise que par intermittence, sous forme d'impulsions très courtes. La durée

d'une telle impulsion est de l'ordre de grandeur d'un millionième de seconde. La différence de temps entre l'impulsion émise et l'écho reçu est déterminée le plus exactement possible. La distance cherchée est proportionnelle à cette différence de temps. Dans le procédé de modulation d'amplitude, c'est-à-dire d'impulsion, la mesure de distance se ramène à une mesure de temps.

Pour éviter toute erreur, une nouvelle impulsion ne doit être émise que lorsque l'écho de l'impulsion précédente a été reçu. Une impulsion emploie par exemple pour couvrir à l'aller et au retour une distance de 50 km, un temps de 1/3000 de seconde. Dans ce cas il ne doit pas être émis plus de 3000 impulsions par seconde. La même antenne peut être utilisée pour l'émission et la réception, à la condition que le récepteur soit déclenché durant l'émission de l'impulsion ; il serait en effet détérioré par la grande puissance de celle-ci.

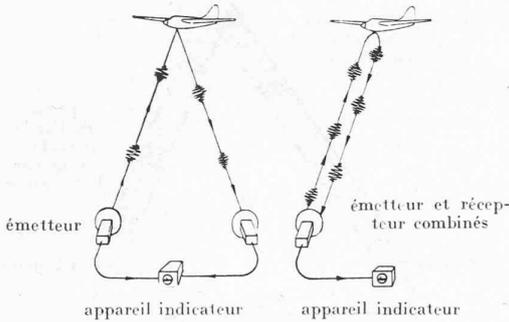


Fig. 7. — Représentation schématique d'une installation de détermination de position d'après le procédé de modulation d'impulsion. A gauche l'émetteur et le récepteur sont séparés, à droite l'émetteur et le récepteur sont combinés.

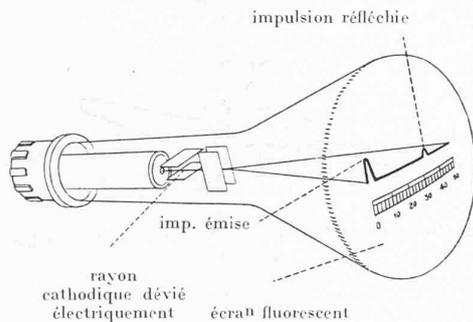


Fig. 8. — Emploi du tube à rayons cathodiques pour la mesure de distance. Le rayon cathodique se déplace de gauche à droite au rythme de l'impulsion émise et revient très rapidement à son point de départ. Il peut être considéré comme travaillant pratiquement sans inertie.

La distance est lue sur un oscillographe à rayon cathodique, étalonné en unités de longueur (fig. 8). Le rayon cathodique est entraîné de gauche à droite au rythme de l'impulsion émise et revient très rapidement à son point de départ. Il peut être considéré comme travaillant pratiquement sans inertie.

A chaque impulsion transmise et à chaque écho reçu, le rayon cathodique est dévié verticalement par voie électrique ; il décrit chaque fois une pointe sur l'écran fluorescent du tube cathodique. L'écartement des deux pointes donne une mesure de la distance cherchée. Celle-ci peut être lue sur une échelle, ou peut être utilisée automatiquement dans l'appareillage pour un but désiré.

Le procédé de modulation par impulsion a été utilisé presque exclusivement pour la détection d'avions (fig. 7).

Energies mises en jeu et exactitudes des mesures.

Il est intéressant de connaître l'ordre de grandeur de la puissance que l'émetteur d'impulsion d'un appareil radar doit rayonner pour pouvoir détecter des avions à une certaine distance, et quelles conditions électriques et mécaniques doivent être réalisées pour obtenir une exactitude de mesure aussi grande que possible.

L'énergie rayonnée par l'émetteur, par unité de surface, est inversement proportionnelle au carré de la distance. La fraction d'énergie qui atteint l'avion est diffusée et, sur le chemin du retour, elle diminue également avec le carré de la distance parcourue.

Si donc l'énergie émise est multipliée par seize, la portée est seulement doublée.

C'est une des raisons pour lesquelles l'énergie rayonnée doit être dirigée en faisceau, car la puissance de l'émetteur ne peut être augmentée indéfiniment. De même la tension reçue qui doit être amplifiée dans le récepteur, ne peut pas être inférieure à une certaine valeur. Par l'emploi de miroirs paraboliques (fig. 9 et 10) ou d'autres systèmes d'antennes directives, un gain très appréciable d'énergie peut être réalisé, aussi bien à l'émission qu'à la réception. Ce gain d'énergie réalisé, dans la direction de l'axe du faisceau d'un miroir parabolique, par rapport à une antenne sans réflecteur est proportionnel à :

$$W \text{ prop } \frac{D}{\lambda^2}$$

Ceci montre l'importance du choix d'une longueur d'onde la plus petite possible. Un quadruplage de l'énergie dans la direction du faisceau est obtenu en diminuant de moitié la longueur d'onde, tout en laissant l'ouverture du réflecteur constante ; les mêmes considérations sont aussi valables pour la réception. Pour des raisons mécaniques (mobilité, stabilité, faible prise au vent) et pour des raisons militaires ensuite (camouflage), il est désirable de diminuer le plus possible le diamètre du miroir. Ceci n'est possible qu'en choisissant une très petite longueur d'onde. Le diamètre du miroir doit être au moins dix à vingt fois plus grand que la longueur d'onde pour que la concentration du rayonnement soit efficace. Les longueurs d'onde aujourd'hui utilisées sont comprises entre 3 et 50 cm, et se trouvaient avant la guerre entre 50 et 300 cm.

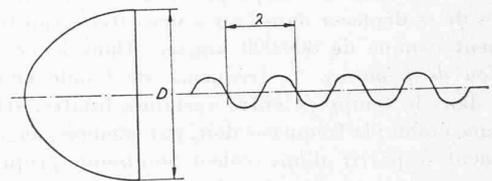


Fig. 9. — Emploi d'un miroir parabolique pour la concentration de l'énergie en faisceau. D = diamètre du miroir. λ = longueur d'onde. La ligne en traits-points donne la direction de rayonnement maximum.

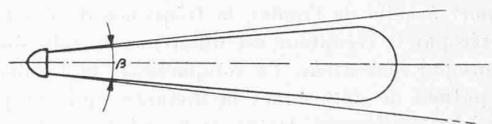


Fig. 10. — β = angle d'ouverture du faisceau d'ondes.

L'angle d'ouverture du faisceau est proportionnel à :

$$\beta \text{ prop } \frac{D}{\lambda}$$

L'angle β conditionne, du côté du récepteur particulièrement, l'exactitude avec laquelle les coordonnées de l'avion sont déterminées.

Grâce au faisceau très fin obtenu, dont l'angle d'ouverture a pu être réduit pratiquement à $0,5^\circ$, le dispositif a le caractère d'un projecteur à onde centimétrique. Ce dispositif, travaillant indépendamment des conditions de visibilité optique, permet de déterminer non seulement la direction de l'objectif, mais aussi son éloignement.

Le fait que la distance d'objectifs se trouvant à 30 km, peut être déterminée avec une exactitude de ± 20 mètres, donne une idée de la perfection de tels appareils. La détermination de la direction de l'objectif se fait aussi avec une grande exactitude puisque l'angle de direction est déterminable à $0,06^\circ$ près par une méthode ingénieuse (rotation excentrique du faisceau autour de l'axe du réflecteur). La concentration de l'énergie rayonnée de l'émetteur et de l'énergie captée dans le récepteur, est seulement un des moyens d'augmenter la distance dans laquelle un avion peut être détecté. L'autre moyen est d'augmenter au maximum l'énergie de l'émetteur. Comme, d'une part, les impulsions doivent être les plus courtes possible, afin d'obtenir une grande exactitude de mesure de distance (environ $1\mu\text{sec.} = 1$ millionième de seconde), et que d'autre part, eu égard à la distance maximum mesurable, la fréquence de répétition de ces impulsions ne doit pas dépasser 1000 par seconde, il s'ensuit que tous les millièmes de seconde une impulsion d'une durée d'un millionième de seconde sera émise. Nous avons donc un rapport de 1 à 1000 entre la période d'émission et celle de repos.

Si nous considérons le phénomène au ralenti, nous aurons émission d'une impulsion d'une durée de 1 seconde toutes les 16 minutes. L'émetteur est donc très rarement en service.

Comme la puissance moyenne est seule déterminante pour l'échauffement des lampes d'émission, la puissance rayonnée lors d'une impulsion peut être mille fois plus grande que cette puissance moyenne. Elle doit du reste être si élevée car la réception d'impulsions étroites exige une large bande de fréquence du récepteur, ce qui a pour conséquence de diminuer la sensibilité de celui-ci. Des puissances d'impulsion de 1000 kW et plus sont nécessaires ; la puissance moyenne étant de 1000 W et la longueur d'onde de 3 à 30 cm.

L'émission sous forme d'impulsions pose des exigences toutes nouvelles à la technique du montage et des lampes. Par exemple une lampe d'émission par impulsion doit pouvoir fournir momentanément la pleine puissance, c'est-à-dire que la cathode doit posséder une capacité d'émission correspondante.

C'est un des triomphes de la technique de la haute fréquence, d'avoir su perfectionner les *magnétrons*, connus déjà avant la guerre, à un degré tel, qu'ils sont capables de livrer des puissances momentanées aussi grandes, sur des ondes extrêmement courtes (fig. 11).

Perfectionnement de la technique du radar.

Les méthodes décrites jusqu'à maintenant permettent de fixer la position d'objectifs dans l'espace par la détermination de leurs coordonnées et de leur éloignement. Elles ont, par contre, le désavantage, comparées aux méthodes optiques, d'avoir un angle visuel extrêmement étroit. Il est désirable pour une détection générale d'avoir un angle visuel



Fig. 11. — A droite, magnétron fournissant des puissances d'impulsion de l'ordre de 200 kW sur la longueur d'onde de 10 cm. A gauche, klystron à réflexion (dit tube de Sutton) utilisé comme oscillateur auxiliaire du récepteur. Le développement du tube à magnétron avec des puissances d'impulsion atteignant 1000 kW, de construction extrêmement condensée, ainsi que du klystron à réflexion ont constitué la base de la fabrication d'appareils Radar.

étendu. Le rayon d'onde centimétrique doit donc balayer périodiquement un certain secteur, pendant qu'un rayon électronique effectue le même mouvement dans un tube à rayon cathodique, et décrit sur l'écran fluorescent une image du secteur examiné. S'il se trouve dans ce secteur un objet réfléchissant les ondes reçues, sa position géométrique sera indiquée sur cet écran (désignation : PPI = plan position indicator). Pratiquement les deux possibilités d'exécution sont la plupart du temps combinées et, à côté de l'examen d'un secteur, la localisation exacte d'un objectif cherché est possible.

L'aviateur a, de son côté, le désir de voir le sol à l'aide de ces appareils, indépendamment des conditions de visibilité. L'opération consiste non plus à balayer le ciel depuis le sol, mais au contraire le sol depuis le ciel. Quelques méthodes, permettant d'obtenir un tel balayage, vont être esquissées rapidement.

Balayage en spirale.

Le faisceau extrêmement étroit de l'onde centimétrique de l'émetteur est projeté vers l'extérieur selon une spirale allant en s'agrandissant pour revenir brusquement ensuite à son point de départ, puis le processus recommence. Ce mouvement est obtenu par une rotation d'excentricité croissante, du dispositif d'antenne. Le rayon dans le tube à rayon cathodique correspondant est dévié électriquement aussi selon une spirale (fig. 12). Son intensité est commandée de telle façon qu'un écho reçu soit indiqué sur l'écran fluorescent par une tache plus ou moins claire.

Balayage linéaire.

Si un secteur limité par des coordonnées rectangulaires doit être examiné, le rayon doit décrire un réseau, se com-

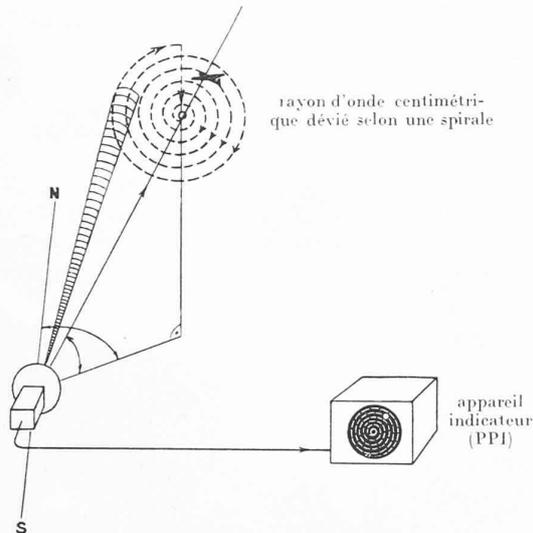


Fig. 12. — Représentation schématique du balayage en spirale d'un secteur à l'aide d'onde centimétrique. Le système d'antenne est commun pour l'émetteur et le récepteur et est entraîné par un dispositif électromécanique. A droite le tube indicateur à rayon cathodique dévié en spirale.

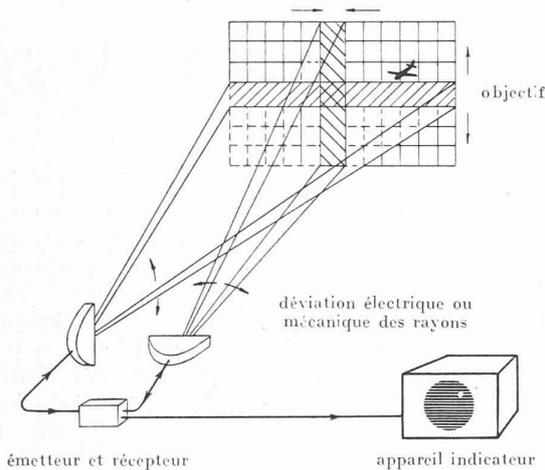


Fig. 13. — Représentation schématique du balayage linéaire d'un secteur à l'aide de deux rayons à onde centimétrique. A droite le tube indicateur à rayon cathodique avec déviation linéaire.

posant par exemple d'une grande quantité de lignes horizontales. Il est possible de faire décrire à un rayon un tel mouvement, mais cette méthode offre certaines difficultés. C'est pourquoi une solution a été cherchée en combinant deux dispositifs de balayage (fig. 13). Les rayons de deux sources différentes sont projetés selon deux plans perpendiculaires l'un à l'autre, et effectuant chacun un mouvement de va-et-vient. Ce mouvement des plans de rayonnement est réalisé soit par un déplacement mécanique de l'antenne, soit électriquement. La précision de mesure est grande car l'angle d'ouverture d'un faisceau d'onde dirigé selon un plan seulement, peut être abaissé à 0,5°. L'élément examiné est donné par le croisement des deux plans de rayonnement. Le point lumineux marqué par le rayon électronique sur l'écran du tube cathodique, se déplace de la même façon

que la ligne d'intersection des deux plans d'ondes. Une méthode particulièrement intéressante et qui par son fonctionnement se place entre les deux méthodes décrites, a été utilisée vers la fin de la guerre dans les bombardiers anglais et américains sous le nom d'appareils panoramiques (désignés également par « Gen Box » ou par le pseudonyme anglais de de H₂S). Il était possible d'obtenir avec ces appareils, et ceci sans aucune visibilité, une image fidèle de la région survolée. Ce procédé, associé à des méthodes de navigation que nous aurons encore à décrire, a rendu possible les bombardements précis. Un rayon d'onde centimétrique en forme de lame de couteau (longueur d'onde d'abord de 9 cm, puis plus tard de 3 cm et même de 1,5 cm !) tourne à raison de 1 à 4 tours par seconde et couvre une surface de 80 km de diamètre au maximum. Le rayon électronique décrit sur l'écran du tube cathodique une image composée de nombreuses dentelures radiales, comme il l'est montré dans la figure 14. Le rayon se déplace vers la périphérie et revient très rapidement au centre de l'écran, puis le processus recommence sous un angle légèrement différent. Ce mouvement circulaire est exactement en synchronisme avec la rotation du rayon d'onde centimétrique. Ce rayon frappe *simultanément* toute une section radiale du sol. Pour examiner chaque élément de cette section, il faut obtenir de chacun de ceux-ci un écho particulier; ces échos devant être échelonnés dans le temps les uns par rapport aux autres. Cet arrangement géométrique des échos réfléchis par le sol se fait automatiquement du fait que l'écho de régions éloignées (voir fig. 14), arrive plus tard que celui réfléchi par la partie du sol située sous l'avion.

La vitesse de déviation radiale du rayon électronique dans le tube cathodique est réglée de telle façon que ce rayon se

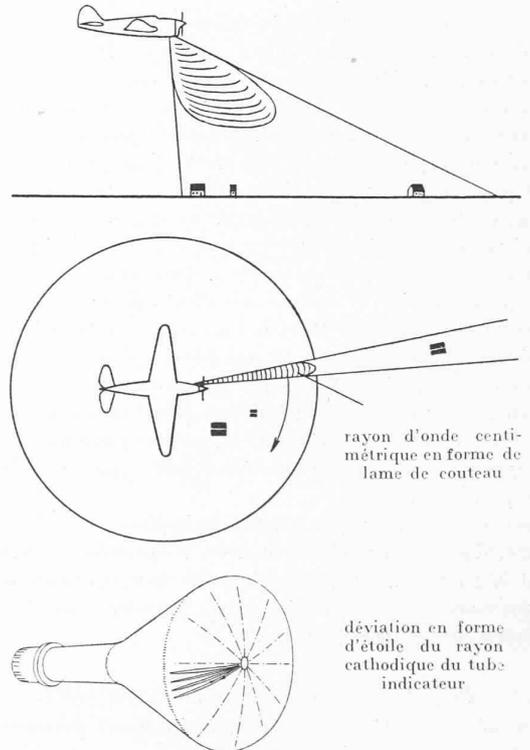


Fig. 14. — Représentation schématique du procédé de balayage dans l'appareil panoramique. Rayon d'onde en forme de lame de couteau. Déviation en forme d'étoile du rayon cathodique du tube indicateur.

trouve à la position désirée lorsque l'écho correspondant est reçu. Par exemple, il se trouve à l'extrême bord du rayon décrit lorsque l'écho venant de la région examinée la plus éloignée est capté. Les différences des temps de parcours des échos sont suffisamment grandes, car l'avion est relativement près du sol par rapport au rayon de la surface balayée (altitude de vol : 1/10 à 1/20 du rayon).

La surface balayée par les ondes centimétriques est représentée sur l'écran avec beaucoup de relief. Ce phénomène est dû à l'inclinaison des rayons incidents et à l'effet d'ombre très marqué qui en résulte.

L'image rendu par des ondes centimétriques est tout autre que celle obtenue avec des rayons lumineux, les facteurs de réflexion dépendant de tout autres conditions. Par exemple l'eau apparaît toujours en noir, car les ondes incidentes n'y sont pas réfléchies dans la direction de l'avion.

Tous les procédés de détection décrits ont ceci de commun que l'onde centimétrique est modulée en impulsion, et que pour l'émetteur et le récepteur, la même antenne est utilisée.

D'autre part, la vitesse de déviation du rayon ne doit pas être trop grande, à cause de la grande sensibilité directrice de l'antenne. En effet, l'écho arrivant ne pourra être capté si la direction de réception maximum de l'antenne s'est trop déplacée. La construction de l'image n'étant possible qu'en 1 à 1/5 seconde, le tube cathodique utilisé doit avoir un écran restant impressionné suffisamment longtemps ; c'est-

à-dire que l'image décrite par le rayon électronique doit rester visible jusqu'à ce qu'une nouvelle image soit inscrite.

En établissant le bilan des diverses méthodes utilisées, nous constatons l'énorme progrès réalisé par la technique du radar sur celle de la goniométrie. Elle donne les solutions des problèmes de détermination de position d'avions aussi bien pour les courtes distances dans l'atterrissage aux instruments, que pour des distances moyennes jusqu'à 200 km. Avant tout, elle a permis à l'aviateur de s'orienter par rapport au sol lorsque la visibilité est nulle.

D'autre part, *certaines limites sont fixées à la technique du radar*. La puissance d'émission nécessaire augmente avec la 4^e puissance de la distance, et même avec la 8^e puissance pour les appareils panoramiques, ce qui marque une limite technique à l'agrandissement du champ d'action, qui ne peut être dépassé pour le moment. Cette technique est en plus spécialement appropriée à la détection d'avions ennemis qui réfléchissent les ondes incidentes, sans pouvoir éviter ce phénomène. Il faut encore mentionner que le champ d'action d'ondes si courtes est limité à la distance de visibilité directe.

Parallèlement au développement du radar, *d'autres méthodes de détermination de position* ont été développées, aussi bien pour le cas de détection depuis le sol, que pour permettre à l'aviateur de « faire le point ». Ces méthodes sont cependant utilisables seulement pour les avions pourvus d'un équi-

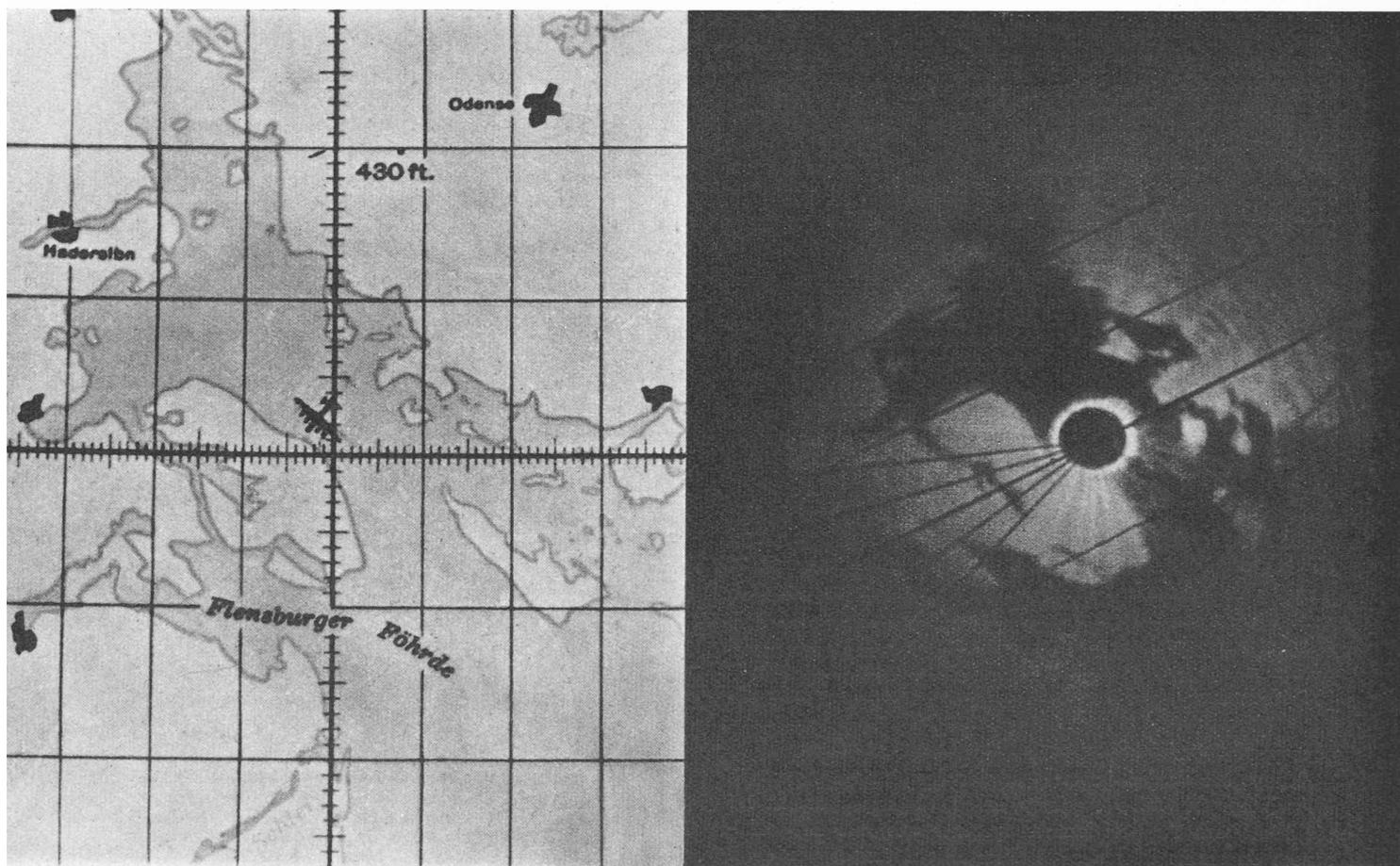


Fig. 15. — A droite : image d'un paysage sur l'écran lumineux d'un appareil panoramique fonctionnant selon le procédé représenté dans la figure 14. Une surface d'eau ne renvoie pas les ondes électro-magnétique en direction du récepteur et se présente par conséquent comme une tache sombre. A gauche, un fragment de carte géographique représentant la région repérée.

pement approprié. Elles ont dans ce cas, par rapport à la méthode du radar, le grand *avantage* d'augmenter le rayon d'action et la précision de la mesure, tout en simplifiant l'appareillage.

Les méthodes de navigation à longue distance.

Pour ces méthodes, le principe de la détermination de distance par la mesure du temps ainsi que la technique de la modulation par impulsion ont été avant tout empruntés à la technique du radar.

Le système de navigation « Oboe ».

Il est évident que le champ d'action, limité par la forte dispersion de l'énergie et le mauvais rendement de la réflexion de l'onde sur l'avion, peut être fortement étendu si l'impulsion reçue par l'avion est amplifiée et émise à nouveau. Une amplification de puissance de l'ordre de 10^{12} est sans autre réalisable par un répéteur d'impulsion installé sur l'avion.

Comme, d'une part, les propriétés de réflexion de l'avion n'ont plus aucune importance, et que d'autre part, à cause de l'amplification intermédiaire, une concentration en faisceau de l'énergie émise n'est plus indispensable, il n'est plus nécessaire d'employer des antennes directives et des ondes extrêmement courtes, pas plus que des puissances d'impulsion aussi élevées que pour le radar.

Le temps que met une impulsion de l'entrée à la sortie du répéteur d'impulsion est connu et constant. Les principes pour la mesure de la distance entre l'émetteur et l'avion sont identiques à ceux que nous avons décrits pour les méthodes de mesure par modulation d'impulsion. La position de l'avion peut être déterminée très exactement par la mesure de sa distance de deux émetteurs ; cette mesure est beaucoup plus exacte que celle obtenue par la méthode goniométrique, où la position est déterminée par des mesures d'angle. Le procédé fut employé en Angleterre pour diriger les avions éclaireurs, et les formations de bombardiers. Il porte le pseudonyme d'« Oboe ».

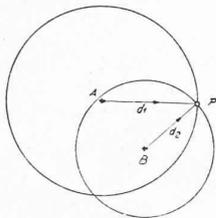


Fig. 16. — Détermination de la position par la mesure de la distance à partir de deux points connus (procédé « Oboe »). A, B = émetteur et récepteur d'impulsion avec dispositif de mesure de distance. P = répéteur d'impulsion à bord de l'avion.

Sous une forme légèrement modifiée, ce procédé fut employé en Suisse déjà au début de la guerre, pour déterminer la position de ballons-sondes. Les répéteurs d'impulsion peuvent être installés tout aussi bien sur le sol, et l'émetteur d'impulsion sur l'avion. Dans ce cas, le pilote de l'avion détermine sa position lui-même, tandis que dans le cas précédemment décrit, sa position lui est transmise par radio.

Les systèmes de navigation « Loran » et « Gee »

Ces systèmes ont été avant tout développés pour permettre à l'aviateur de « faire le point », en cas de guerre, et ont été réalisés avant l'apparition du système « Oboe ». Les différences de temps de parcours d'impulsions émises par deux émetteurs sont mesurées dans l'avion. Les lieux, pour lesquels la différence de temps de parcours des impulsions reçues est constante se trouvent sur des hyperboles (isochrones), dont les pôles sont les deux émetteurs.

Afin que les deux émetteurs travaillent exactement en synchronisme, ce qui est nécessaire pour que les isochrones restent fixes, un des émetteurs travaille comme répéteur d'impulsion. Il est excité par le signal reçu, émis par l'émetteur d'impulsion, et émet un nouveau signal dont l'écart de temps avec le signal incident est exactement connu. Pratiquement deux paires d'émetteurs sont toujours utilisées : un émetteur d'impulsion et deux répéteurs, dont les familles de courbes hyperboliques se coupent autant que possible à angle droit dans la région où une exactitude de mesure maximum est désirée. Les écarts de temps des impulsions arrivant à l'avion sont mesurés à l'aide d'un tube cathodique d'après le principe représenté dans la figure 8 ; mais ici l'écart est donné en temps et non pas en distance. Les isochrones des deux paires d'émetteurs sont portés sur les cartes de navigation.

Le système américain « Loran » (Long range navigation) utilise les ondes moyennes les plus courtes d'environ 150 m, et permet de déterminer la position, avec une exactitude de 1 %, d'objectifs se trouvant jusqu'à 2000 km de distance, en utilisant les ondes d'espace. La précision de mesure de distances plus courtes est notablement meilleure. Ce système est employé aussi par la marine. Le système anglais « Gee » travaille avec des ondes ultra courtes de 3,5 à 7 m et est employé avant tout pour la détection de bombardiers volant à haute altitude. Le système « Oboe » est plus précis pour les grandes distances que le système « Gee », car dans le premier, les différences de temps à mesurer deviennent toujours plus grandes, tandis que dans le deuxième, ces différences de temps restent à peu près constantes.

Conclusion.

A la fin de la deuxième guerre mondiale, le développement inattendu pris par l'aviation nous place devant une situation nouvelle en ce qui concerne les méthodes et appareils de navigation. Les méthodes de détermination de position développées avant la guerre, et qui étaient fondées sur la mesure de la direction de propagation d'un champ électromagnétique, ont été supplantées par de nouvelles méthodes basées sur la mesure de temps ou de différences de temps employées par les ondes électromagnétiques pour parcourir

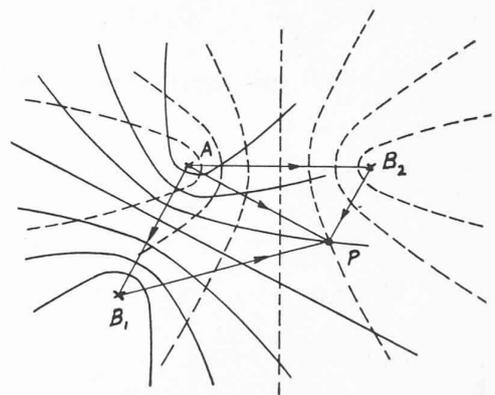


Fig. 17. — Détermination de position à l'aide de deux paires d'émetteurs (procédé « Gee »). A = émetteur d'impulsion ; B₁, B₂ = répéteurs d'impulsion, P = position de l'avion avec dispositif de mesure à bord. Les impulsions de l'émetteur A sont reçues par B₁ et B₂ et émises à nouveau. Le temps de parcours de A à B₁ et B₂ et dans les répéteurs d'impulsion est constant. Les temps de parcours directs de A, de B₁ et de B₂ à l'avion sont fonction de la position de ce dernier.

un trajet inconnu. Comme le mot radiogoniométrie le sous-entend, ce procédé a été développé en se basant sur les méthodes classiques de triangulation par instruments optiques.

Il est toutefois dans la nature des choses que, par l'emploi d'ondes hertziennes qui sont en moyenne un million de fois plus longues que les ondes lumineuses, les mesures d'angle ne sont pas aussi précises. Ainsi des angles peuvent être mesurés au moyen des théodolites modernes avec une précision d'un centième de seconde (10^{-5} degré). Par contre, les mesures de temps peuvent être effectuées à l'aide des ondes hertziennes, avec une exactitude d'un cent-millionième de seconde (10^{-8} sec), ce qui permet d'évaluer des distances à quelques mètres près. Les méthodes purement « radiogoniométriques » sont donc d'emblée en infériorité vis-à-vis de méthodes basées sur la mesure de temps.

Il faut mentionner que la connaissance de ce fait est antérieure à la guerre et que les méthodes de détermination de position qui en ont découlé ne sont pas des découvertes de ces dernières années.

Ce que ces dernières années ont apporté, ce sont d'abord les données techniques, le perfectionnement des éléments constructifs, qui ont permis les réalisations pratiques de ces méthodes. C'est ensuite une somme énorme d'expériences pratiques qui ont été faites avec ces appareils; expériences qui embrassent toutes les conditions de travail possibles, et qui de ce fait apportent une contribution importante à la résolution des problèmes de sécurité d'exploitation, problèmes qui jouent un rôle de premier plan dans l'aviation civile.

SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

Procès-verbal

de l'assemblée des délégués du samedi 13 avril 1946, à
9 h. 15 du matin, à l'Hôtel Schweizerhof, à Berne.

Ordre du jour :

1. Allocution du président de la S. I. A.
2. Procès-verbal de l'Assemblée des délégués du 22 septembre 1945 à Zurich (publié dans la *Schweizerische Bauzeitung* n^{os} 25 et 26 des 22 et 29 décembre 1945, ainsi que dans le *Bulletin technique de la Suisse romande*, n^{es} 25 et 26 des 8 et 22 décembre 1945).
3. Rapport du secrétaire central sur l'activité de la société depuis la dernière assemblée des délégués.
4. Approbation des comptes de l'exercice 1945 et du budget pour 1946; fixation de la cotisation annuelle pour 1946.
5. Approbation d'une adjonction au Tarif d'honoraires pour travaux d'architecture, form. n^o 102.
6. Révision des formules n^{es} 118/118a :
« Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction », nouvelle formule n^o 118.
7. Approbation des Normes et exemples pour canalisations.
8. Approbation du Complément aux normes pour les liants servant à la préparation de mortiers et bétons adopté en 1945.
9. Propositions de la section de Zürich concernant l'établissement d'une adjonction au Tarif d'honoraires pour travaux d'ingénieur-civil concernant les colonies d'habitation.

10. Rapport sur le travail de la commission et du bureau S. I. A. pour la reconstruction.

11. Propositions individuelles et divers.

Présidence : M. Kopp, arch. Secrétaire : M. P. Soutter, ng.

Liste de présence.

Comité central : MM. M. Kopp, arch., président, dir. D^r M. Angst, ing., dir. E. Choisy, ing., R. Eichenberger, ing., A. Rölli, ing., prof. D^r F. Stüssi, ing., prof. J. Tschumi, arch.

Sont présents : 81 délégués, représentant 18 sections :

Invité : M. E. Strasser, arch., représentant de la ville de Berne.
Argovie : MM. F. Doser, ing., O. Richner, ing., E. Schlosser, ing.
Bâle : MM. A. Aegerter, ing., R. Christ, arch., G. Gruner, ing., H. Rapp, ing., A. Rosenthaler, ing., P. Sarasin, arch., M. Tüller, arch., E. Wylemann, ing. — Berne : MM. H. Daxelhofer, arch., E. Gerber, D^r ing., W. Gloor, arch., H. Härry, ing., M. Hartenbach, ing., W. Huser, ing., F. Hiller, arch., E. Käech, ing., P. Lanzrein, arch., M. Oesterhaus, ing., M. von Salis, D^r ing., W. Schmid, ing., H. Weber, ing., P. Zuberbühler, ing. — La Chaux-de-Fonds et Le Locle : M. J.-P. Stucki, arch. — Fribourg : MM. M. Colliard, arch., H. Gicot, ing. — Genève : MM. J. Calame, ing., F. Gampert, arch. M. Humbert, ing., G. Peyrot, arch., A. Rossire, arch. — Grisons : MM. P. J. Bener, ing., H. Conrad, ing., R. Gasser, ing., J. E. Willi, arch. — Neuchâtel : MM. G. Furter, ing., J.-J. Du Pasquier, arch. — Saint-Gall : MM. W. Sommer, ing., E. A. Steiger, arch. — Schaffhouse : M. E. Maier, ing. — Soleure : MM. L. Diehl, arch., A. Heizmann, ing. — Thurgovie : (Excusé.) — Tessin : M. C. Chiesa, arch. — Valais : MM. Ch. Meyer, ing., A. Perraudin, arch. — Vaud : MM. R. Bolomey, ing., O. Carroz, ing., R. Loup, arch., H. Matti, ing., P. Oguey, ing., E. d'Okolski, arch. A. Pilet, arch. M. Renaud, ing., A. Stucky, ing., J.-P. Vouga, arch. — Waldstätte : MM. W. Kollros, ing., C. Mossdorf, arch., E. Wüest, ing., B. Zanolari, ing. — Winterthour : MM. Th. Bremi, ing., H. Ninck, arch., M. Zwicky, ing. — Zurich : MM. H. Châtelain, ing., A. Dudler, ing., E. Egli, D^r arch., K. Fiedler, ing., R. Henzi, ing., W. Jegher, ing., A. Mürset, arch., E. Ramser, ing., E. Rathgeb, ing., H. Suter, arch., A. Schnetzler, ing., M. Stahel, ing., W. Stäubli, ing., H. Vavra, ing., A. von Waldkirch, arch., H. Wüger, ing., A. Zwygart, D^r ing. — Ont été désignés comme scrutateurs : MM. P. J. Bener, ing., H. Weber, ing., A. Zwygart, D^r ing.

1. Allocution du président de la S.I.A.

Le président, M. M. Kopp souhaite la bienvenue à l'assistance et salue la présence des deux délégués de la ville de Berne, MM. F. Hiller, architecte de la ville et E. Strasser, architecte, chef du service d'urbanisme de la ville. Les convocations à l'assemblée des délégués ont été envoyées à temps et aucune proposition n'est parvenue au secrétariat dans le délai statutaire.

2. Procès-verbal de l'assemblée des délégués du 22 septembre 1945, à Zurich.

Le procès-verbal de la dernière assemblée des délégués à Zurich ne fait l'objet d'aucune remarque; il est approuvé avec remerciements au secrétaire.

3. Rapport du secrétaire central sur l'activité de la société depuis la dernière assemblée des délégués.

Ce rapport est limité à l'activité de la S. I. A. depuis la dernière assemblée des délégués du 22 septembre 1945 à Zurich. Il embrasse une période d'environ six mois seulement et, pour cette raison, peut être brièvement traité.

a) Etat nominatif.

Le 12 avril 1946, la S. I. A. comptait déjà 3068 membres contre 2971 au 21 septembre 1945, ce qui représente une augmentation de 97 membres depuis la dernière assemblée des délégués. Les membres se répartissent, d'après leurs professions comme suit : Architectes 885; ingénieurs civils, 1088; ingénieurs électriciens 365; ingénieurs mécaniciens 503; ingénieurs agronomes et topographes 133; chimistes, etc. 94. L'état nominatif témoigne d'une augmentation réjouissante, qui contribuera à renforcer la position de la société.