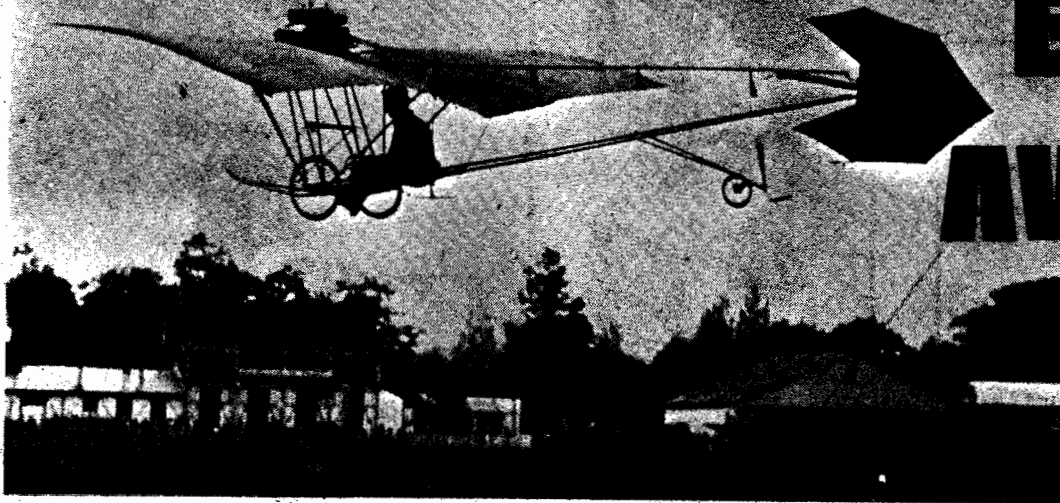


ELECTRONIQUE

ET

AVIATION



La radionavigation

§ 7. — PILOTE AUTOMATIQUE

LE pilote automatique est un ensemble électronique et électromécanique dont le rôle principal est de maintenir l'avion à l'altitude et au cap magnétique déterminés par le pilote. Des dispositifs complémentaires permettent de l'utiliser aussi pour les évolutions de l'avion en montée, en descente, ou en virage, et permettent également de l'asservir à des signaux de radionavigation fournis par les récepteurs VOR et ILS notamment.

Trois chaînes principales de servo-commandes (direction, roulis et profondeur) reçoivent des signaux de manœuvre, de stabilisation et d'asservissement, les transforment et les amplifient pour alimenter les servo-moteurs qui actionnent les gouvernes correspondantes de l'avion.

En ce qui concerne les signaux

exploités par le pilote automatique, nous avons donc les trois groupes suivants :

a) — Les signaux de manœuvre. Déterminés manuellement par le pilote à partir du panneau de commande, ils permettent l'exécution des évolutions désirées (montées, descentes, virages à gauche ou à droite).

b) — Les signaux de stabilisation et de référence. Ils sont fournis par les accéléromètres, le gyro vertical (roulis et tangage) et le gyro directionnel pour le maintien de l'avion sur son cap.

c) — Les signaux d'asservissement. Le contrôleur d'altitude fournit un signal qui permet d'asservir le pilote automatique (on dit aussi le P A) à une pression barométrique constante. Les récepteurs de radionavigation VOR et ILS fournissent également des signaux d'écart qui, après adaptation par un coupleur radio, asservissent le pilote automatique

sur les axes VOR et ILS. En outre, pour l'I.L.S., nous l'avons vu, on peut distinguer deux phases : Localizer et Glide Path; dans la première, l'avion vole dans l'alignement de l'axe de la piste; dans la seconde, il vole, en plus, sur la trajectoire de descente « glide slope ».

Il va sans dire qu'un pilote automatique peut également être asservi à partir d'une plate-forme à inertie (§ 13)... D'ailleurs, en principe, il y fait tout naturellement suite.

Un pilote automatique complet et bien conçu se compose essentiellement des éléments suivants :

- Un panneau de commande installé sur le pupitre (pilote).
- Un indicateur installé sur la planche co-pilote.
- Six accéléromètres linéaires répartis en différents points de l'avion.
- Un gyro vertical.
- Un calculateur de commande de vol installé dans le rack radio et comportant les sous-ensembles ci-après :

- un calculateur de pression;
- un calculateur de lacet;
- un calculateur de roulis;
- un calculateur de tangage;
- un coupleur radio;
- un bloc d'atténuateurs;
- un châssis d'alimentation et de verrouillages.

— Un calculateur de stabilisation comportant les sous-ensembles ci-après :

- un servo-amplificateur de direction;
- un servo-amplificateur ailerons;
- un servo-amplificateur de profondeur;
- un coupleur de correction de profondeur (trim);
- un bloc de débrayage automatique.
- Trois servo-moteurs agissant sur :
 - la direction;
 - les ailerons;
 - la profondeur.

— Deux boutons d'arrêt (un sur chaque volant de manche).

Tout cela est illustré d'une façon simplifiée par les figures III-12 et III-13.

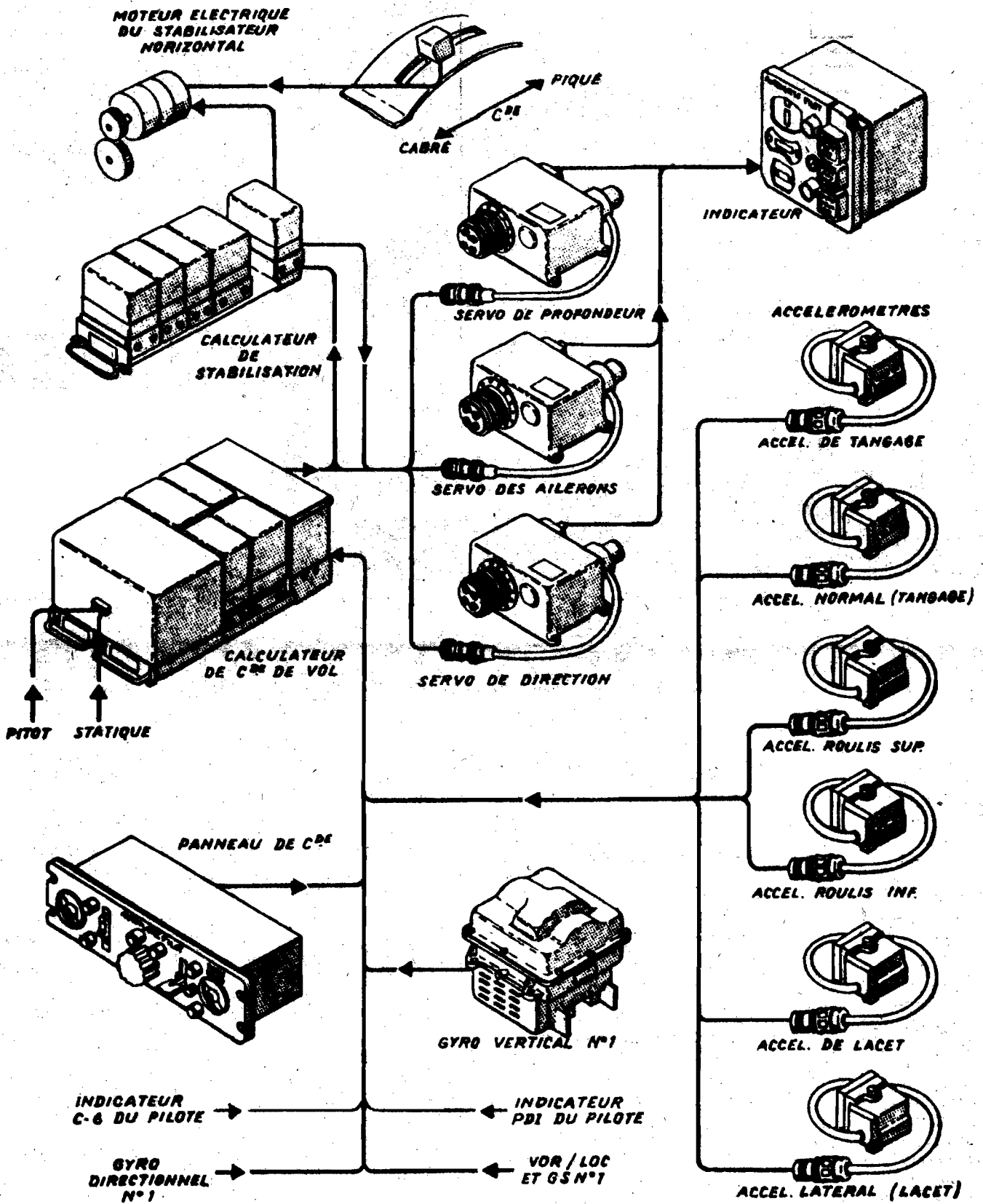


Fig. III - 12

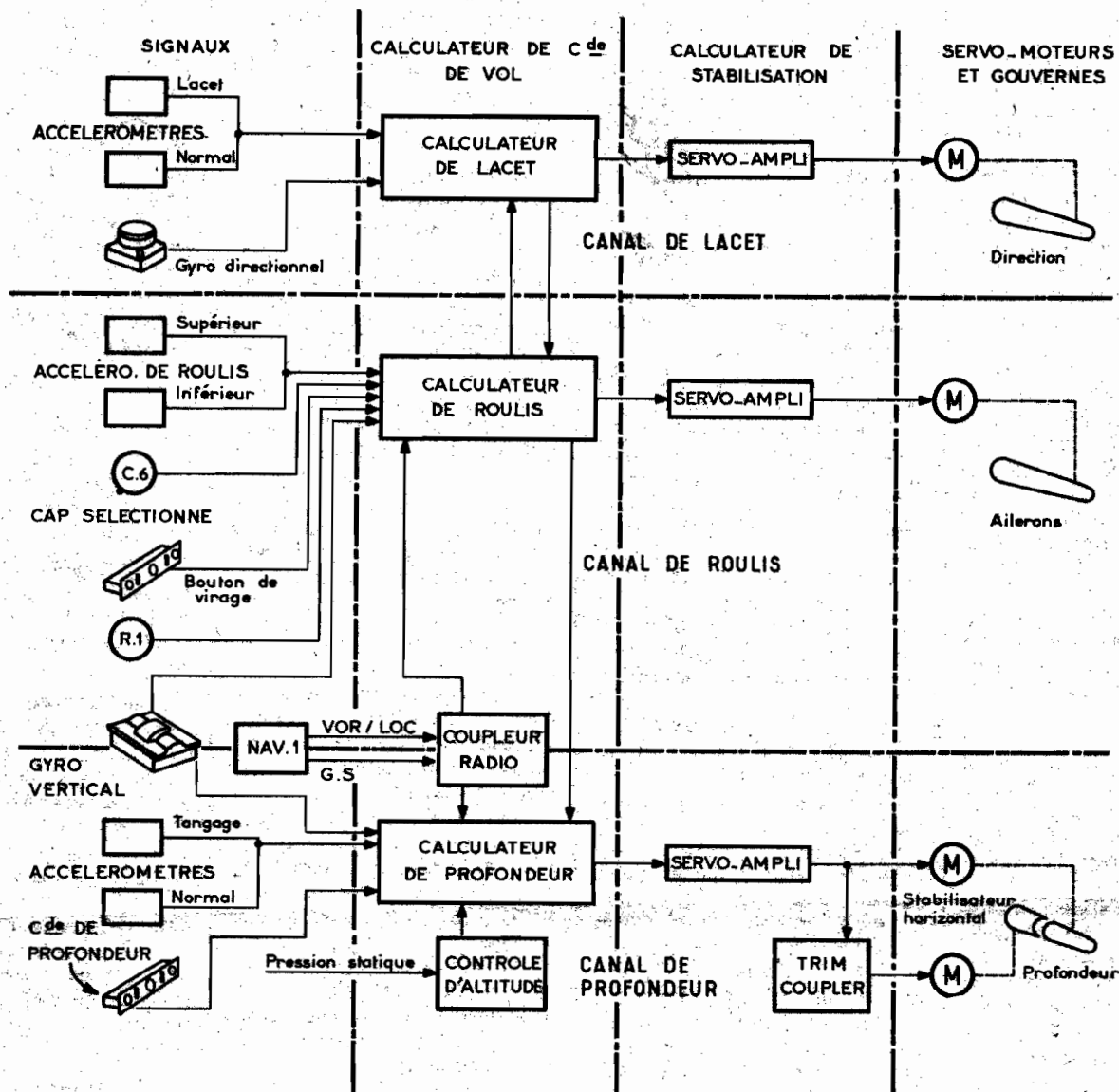


Fig. III - 13

§ 8. — Le D.M.E.

Le D.M.E. (Distance Measuring Équipement) sera sans doute obligatoire dans les armées à venir dans de nombreuses T.M.A., c'est-à-dire dans de nombreuses régions de contrôle terminales d'aérodromes, et en tout cas partout où le trafic à l'approche d'un aérodrome sera intense.

Le principe de base du D.M.E. est simple : l'avion émet un signal dit d'interrogation, à destination d'une station au sol, qui le reçoit, le code, et le ré-émet. Le temps qui s'écoule entre l'émission du signal par l'avion et la réception à bord du nouveau signal émis par la station au sol peut être traduit en « distance ».

Ce même D.M.E. peut aussi

comparer les différences de distances pour un temps donné, et donc chiffrer la vitesse de rapprochement de la station au sol; comme en général, la route de l'avion aboutit à ladite station, on peut donc obtenir directement la vitesse de l'avion par rapport au sol.

Enfin, puisque le D.M.E. dispose des informations « distance » et « vitesse », il peut aussi indiquer le temps nécessaire pour rejoindre la verticale de la station. Tout (ou presque...) est possible en électronique!

Les stations au sol (D.M.E. ou TACAN) sont généralement implantées aux mêmes endroits que les stations V.O.R.; le point est alors facile à faire en traçant le relèvement et la distance. On dispose, en plus, d'une « estimée »

exacte (sans erreur possible de calcul). On peut aussi faire un « circuit d'attente » sur un point précis seulement défini par un axe et une distance.

Le D.M.E. utilise la partie « standard de fréquences » du récepteur V.O.R. déjà installé à bord, avec en plus un bloc de commande (interrogation) et un instrument (indicateur). En fait, le channel (ondes décimétriques) du D.M.E. ou du TACAN est lié directement à la fréquence du V.O.R. implanté au lieu géographique considéré. Si bien que, dans de nombreuses installations de bord, lorsque le pilote affiche la fréquence d'un V.O.R., il obtient automatiquement le channel D.M.E. ou TACAN correspondant.

Les services rendus par un D.M.E. sont tout aussi spectaculaires en VFR qu'en IFR. On peut, en effet, rejoindre n'importe quelle destination, pourvu qu'elle soit à portée d'un V.O.R. / D.M.E. Il suffit, pour cela, d'afficher sur le récepteur V.O.R. le relèvement passant par la destination et de surveiller les indications du D.M.E. donnant la distance par rapport à la station...

Disons qu'à l'heure actuelle, il existe en France une bonne quarantaine de balises V.O.R. utilisables pour le D.M.E. de bord; ce sont les balises D.M.E. (bien sûr) et les TACAN (ou VOR-TAC) qui sont nombreux en France (comme à l'étranger d'ailleurs), et qui permettent cette utilisation courante et efficace du D.M.E. en VFR comme en IFR.

RADAR OU DÉTECTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

La détection électromagnétique a fait ses débuts vers 1938-39; mais ce n'est qu'au cours des hostilités de 1939-1945 qu'elle s'est rapidement développée sous le terme abrégé de radar. Le principe de fonctionnement est le suivant : si l'on effectue une émission très brève d'ondes électromagnétiques, ces ondes se réfléchissent partiellement sur les obstacles qu'elles rencontrent sur leur trajet et une faible partie de l'énergie réfléchie revient vers le point d'émission et peut être captée par un récepteur approprié sous forme d'un écho radioélectrique. Si l'on peut évaluer la différence entre l'instant d'émission et l'instant de retour, on peut, connaissant la vitesse des ondes électromagnétiques, déterminer la distance de l'obstacle réfléchissant.

Pour effectuer cette mesure, on utilise des ondes très courtes qui peuvent facilement être concentrées en un pinceau très fin un peu analogue au faisceau d'un projecteur optique. Dans ces conditions, le radar peut non seulement indiquer la distance de l'obstacle, mais aussi son gisement, c'est-à-dire l'angle que fait sa direction par rapport au nord géographique et son site, c'est-à-dire l'angle que fait sa direction par rapport au plan horizontal. Si l'obstacle est, par exemple, un avion repéré par un radar au sol, on voit qu'il est aisé de déterminer sa position sur une carte et de calculer son altitude.

L'emploi d'ondes très courtes (1 à 20 cm) permet d'effectuer une concentration importante du faisceau, dont l'ouverture n'est que de quelques degrés, mais la portée de ces ondes est pratiquement égale à la portée optique. Dans le cas des avions, la portée dépend de leur altitude : un avion volant à 1 000 m sera détecté à une centaine de kilomètres et celui qui vole à 10 000 m sera détecté à 300 km. Mais il faut en outre que la puissance émise soit très élevée, car ce n'est qu'une très faible partie de la puissance émise qui revient sous forme d'écho; l'étude du rayonnement montre que la portée est proportionnelle à la racine quatrième de la puissance; donc pour doubler la portée, il faut multiplier la puissance par 16.

Ceci explique que dès les débuts de cette technique, on a cherché à produire en impulsions des puissances très élevées dans le domaine des hyperfréquences. Cette recherche a conduit à la réalisation de tubes spéciaux à l'émission tels que les magnétrons et à la réception : klystrons, puis tubes à ondes progressives.

En outre, cette centrale doit fournir le « point » sous la forme « longitude et latitude ».

Le principe simplifié de base de l'ensemble est le suivant :

1° Des accéléromètres A_N et A_E sont placés sur la plate-forme, leurs axes étant respectivement parallèles aux axes N_p et E_p du trièdre de ladite plate-forme. L'asservissement de stabilisation fonctionnant convenablement, ces axes doivent rester horizontaux et les signaux accélérométriques correspondants ne seront pas perturbés par le champ de gravitation ambiant.

2° A partir des signaux accélérométriques ainsi obtenus, le calculateur de la centrale détermine :

a) le « point » (longitude et latitude);

b) les composantes ω_N , ω_E , ω_V de la vitesse de rotation du trièdre géographique « local » en fonction des déplacements de la centrale et de la rotation de la Terre.

3° Des gyroscopes G_V , G_N , G_E , montés sur la plate-forme ont leurs axes respectivement parallèles aux axes V_p , N_p , E_p , du trièdre de ladite plate-forme. Les moteurs-couples de ces gyroscopes reçoivent des signaux proportionnels aux composantes ω_V , ω_N , ω_E , afin que la condition « précession plate-forme = « précession du trièdre géographique local » soit réalisée.

L'orientation initiale (ou « érection ») de la plate-forme étant correcte, nous sommes alors certains de conserver une plate-forme orientée, en toute indépendance des mouvements de l'avion qui la supporte.

Un tel dispositif est donc simultanément :

— un repère de verticale (puisque V_p est asservi à la verticale);

— un repère de cap (puisque N_p est asservi au Nord géographique);

— un indicateur de « point », de position, fournissant la latitude et la longitude du lieu de la centrale.

Cependant, pour être complet et pour tenir compte de la gravitation, le système qui vient d'être

succinctement décrit doit généralement être assisté par un dispositif lui fournissant l'altitude; d'où, chaîne de calcul supplémentaire. Et l'on arrive ainsi à ce qui a été appelé « centrales à inertie assistées ».

En fait, cette assistance intervient généralement aussi dans des domaines autres que celui de l'altitude. Si l'on examine l'évolution des erreurs susceptibles d'intervenir sur une plate-forme à inertie, on s'aperçoit en effet, que ces erreurs risquent de devenir prohibitives dans le cas d'un déplacement vertical (ou ascensionnel rapide) et dans le cas d'une navigation de très longue durée.

On a donc cherché à améliorer cet état de fait en « assistant » la centrale par des dispositifs extérieurs susceptibles de parfaire la précision.

C'est ainsi que l'on utilise généralement :

— une aide altimétrique supprimant la divergence des erreurs verticales (nous l'avons dit) par correction permanente de l'altitude « inertielle »;

— une aide tachymétrique, issue d'un anémomètre-badin corrigé ou d'un radar-doppler, assurant une correction de la vitesse indiquée et un amortissement des oscillations d'erreur;

— un recalage de la centrale par mesures extérieures du « point », de la position, généralement effectuées à l'aide des stations de radio-navigation au sol.

La figure III-26 représente schématiquement une plate-forme à suspension « 3 axes »; nous y retrouvons :

a) — la plate-forme stabilisée proprement dite (cœur du dispositif) supportant les organes détecteurs (notamment gyroscopes et accéléromètres, ces derniers n'étant pas représentés);

b) — trois gyroscopes G_1 , G_2 , G_3 , dont les axes forment un trièdre rectangle;

c) — trois moteurs d'asservissement M_1 , M_2 , M_3 , respectivement placés sur les axes de cardan (1), (2) et (3);

d) — un amplificateur A_1 reliant G_1 à M_1 , cet assemblage fonctionnant exactement comme dans le cas de la stabilisation « 1 axe » vue précédemment;

e) — un ensemble électronique reliant G_2 et G_3 aux moteurs M_2 et M_3 via les amplificateurs A_2 et A_3 , mais aussi par l'intermédiaire d'un résolveur R placé sur l'axe de cardan intérieur (1).

Ce dernier point nécessite une explication. L'axe du moteur M_1 reste parallèle à l'axe du gyroscope G_1 quels que soient les évolutions du véhicule; la stabilisation autour de (1) se fait donc toujours normalement. Par contre, les axes des moteurs M_2 et M_3 ne restent pas toujours forcément parallèles aux axes des gyroscopes G_2 et G_3 soient valables, il est nécessaire de leur faire subir, si besoin est, une certaine correction correspondante; c'est le rôle du dispositif électromécanique appelé résolveur monté sur l'axe (1).

La plate-forme est directement asservie aux directions des toupies des gyroscopes. Les tensions « erreur » des asservissements sont les signaux fournis par les détecteurs d'écart (axe de toupie / axe de boîtier).

La précession de la plate-forme est obtenue en appliquant les couples voulus aux toupies des gyroscopes au moyen de leur moteur-couple.

Dans une plate-forme « 3 axes », la meilleure disposition des axes de cardan (1, 2, 3) supportant la plate-forme est fonction des évolutions possibles du véhicule et de la liberté autorisée à l'articulation autour de chacun de ses axes (voir figure III-27). Les axes (1) et (3) permettent en principe une liberté complète; par contre, la liberté de l'axe (2) est toujours limitée. C'est ainsi que dans un avion où le tangage est minime, on pourra choisir : (1) = axe de lacet; (2) = axe de tangage; (3) = axe de roulis.

L'articulation est en position idéale lorsque l'avion vole horizontalement. Mais le fonctionnement devient de plus en plus délicat au fur et à mesure que l'angle formé par la direction de l'axe du cardan intérieur avec la direction de l'axe du cardan extérieur diffère de 90° (angle entre axes 1 et 3).

Cet inconvénient interdit l'utilisation d'une stabilisation « 3 axes » à bord d'un véhicule susceptible d'effectuer des évolutions rapides et importantes; or, c'est précisément souvent le cas d'un avion. On a donc tourné la difficulté en créant la suspension ou articulation dite « 4 axes ».

Pour cela, on a ajouté un troisième anneau porteur (AP), donc un quatrième axe de cardan, autour d'une stabilisation « 3 axes »; voir figure III-28.

Sur l'axe (2), est monté un organe de calcul C fournissant un signal S qui s'annule lorsque l'axe de cardan « 3 axes » est en posi-

tion idéale, c'est-à-dire lorsque les axes (1) et (3) sont orthogonaux.

Enfin, l'anneau extérieur AP d'axe (A) est soumis au couple correctif d'un moteur M placé sur la structure porteuse du véhicule, moteur alimenté par le signal S après amplification adéquate par A.

D'autre part, il va sans dire :

- que l'ex-plate-forme « 3 axes » fonctionne exactement comme nous l'avons exposé précédemment;

- que les éléments d'asservissement se rapportant à la stabilisation normale « 3 axes » de la figure III-26, n'ont pas été représentés ici;

- que le fonctionnement de l'ensemble dit « 4 axes » est tel que l'anneau extérieur AP prend simplement la position angulaire requise pour faire fonctionner la plate-forme « 3 axes » dans la configuration idéale, c'est-à-dire dans d'excellentes conditions. En bref, il s'agit donc bien d'une stabilisation de la plate-forme dans les trois axes de l'espace schématisés sur les figures III-25 ou 26, mais avec une suspension, une articulation, à quatre axes.

Notre exposé progressif étant terminé, il est bon de préciser que toutes les plates-formes à inertie montées sur avions sont du type à « 4 axes ».

RADAR A IMPULSIONS

Ce sont les plus classiques et les plus répandus, destinés aux grandes portées. Ils comportent :

- Un émetteur, équipé d'un magnétron pouvant délivrer en crête des puissances allant de 10 kW à plusieurs milliers à des fréquences de l'ordre de 3 000 à 30 000 MHz; le déclenchement de l'impulsion s'effectue à l'aide d'un modulateur qui fournit des impulsions de 0,2 à 2 μ s à la cadence de 500 à 5 000 par seconde suivant la portée;

- Une antenne reliée à l'émetteur par l'intermédiaire de guides d'ondes; la directivité de l'antenne est élevée dans les deux directions, ou bien dans une seule; dans ce dernier cas, on observe une tranche verticale du ciel, comme c'est le cas pour les radars de surveillance d'aérodrome.

A la réception, on utilise presque toujours la même antenne qu'à l'émission que l'on commute de l'émetteur au récepteur à l'aide de tubes duplexeurs.

- Un récepteur du type superhétérodyne à très grand gain et à large bande; après détection, les signaux reçus sont envoyés sur un tube cathodique.

Dans le système le plus ancien, on déclenche la balayage à l'instant du départ de l'impulsion et on enregistre l'écho (Fig. III-14); l'évaluation du temps t sur l'écran permet de déduire la distance de l'obstacle; chaque microseconde représente une distance de 150 m (car l'onde parcourt l'aller plus le retour).

Dans le cas de l'aide à la navigation aérienne, l'antenne tourne de façon continue autour d'un axe vertical pour explorer tout l'horizon et, dans ce cas, le balayage du tube part du centre en décrivant une série de rayons qui correspondent à toute la série des directions autour du radar; on peut ainsi tracer le « panorama radar ».

Sur un aérodrome, on percevra les échos des différents avions qui se trouvent dans la région.

ÉLIMINATION DES ÉCHOS FIXES

Les ondes électromagnétiques se réfléchissent parfaitement bien sur les surfaces métalliques et partiellement sur les mauvais conducteurs; néanmoins lorsqu'on « explore » autour du radar, on perçoit des échos sur les maisons, les cheminées d'usine, les montagnes, et si on veut suivre tout spécialement un mobile, on constate que souvent son écho est « noyé » dans les échos fixes; c'est pourquoi sur les radars d'aérodromes, il est nécessaire de disposer d'un système qui permette d'éliminer à volonté les échos sur les obstacles fixes. On y parvient en utilisant l'effet Doppler-Fizeau qui fait apparaître, dans le cas de la réflexion sur un obstacle fixe, une fréquence d'autant plus différente de celle de l'onde incidente que la vitesse de l'obstacle est élevée. La séparation entre les échos d'obstacles fixes et mobiles s'effectue à l'aide d'un filtre spécial qui ne laisse passer que ces derniers échos.

Ce système est particulièrement intéressant dans les radars d'aide à l'atterrissage (G.C.A.) où l'écho de l'avion, au moment de l'approche de la piste, risque de se confondre avec les échos fixes du paysage.

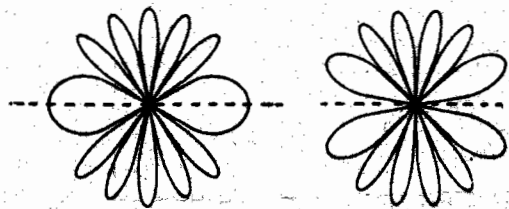
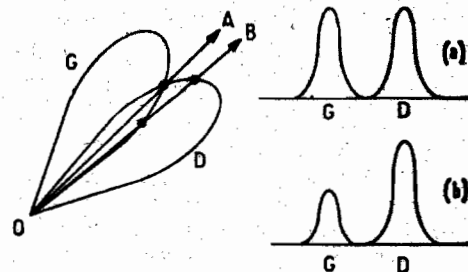
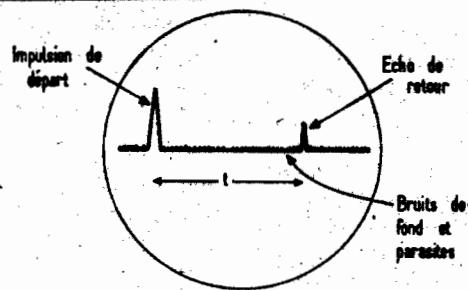


Fig. III - 16

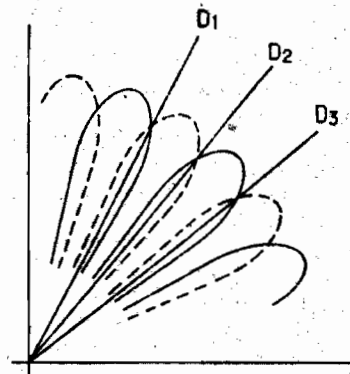


Fig. III - 17

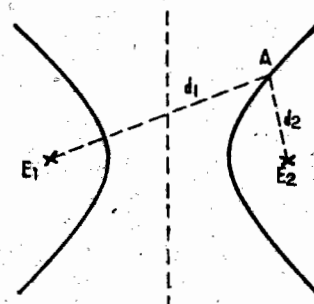


Fig. III - 18

POURSUITE AUTOMATIQUE

Il peut être utile pour le radariste qui surveille une région autour de l'aérodrome, de surveiller tout spécialement le vol d'un avion. Pour cela, il arrête la surveillance panoramique et cale l'antenne sur l'écho désiré, puis il passe en « poursuite automatique » pour suivre l'avion.

Le principe de cette méthode est le suivant : si l'on peut par commutation (ou tout autre procédé) produire deux faisceaux qui occupent successivement les positions « gauche » et « droite » de la figure III-15, on constate qu'un avion placé dans la direction OA produira des échos de même amplitude, tandis que si l'avion est placé dans la direction OB il produira des échos d'amplitudes différentes (au moment de la commutation, une petite tension permet de décaler les deux échos). Un système de servomécanisme permet d'utiliser la différence d'amplitude comme tension d'erreur pour recentrer les faisceaux et conserver l'égalité des échos : si l'avion se déplace, l'antenne suit sa direction.

Jusqu'ici, nous avons supposé qu'il s'agissait de radars installés au sol, soit à longue portée (pour surveillance de zones), soit à portée moindre (pour l'aide à l'atterrissage au G.C.A.). Mais, nous avons aussi les radars « embarqués », c'est-à-dire installés à bord des avions; ils portent généralement le nom de « radar météo » et sont notamment utilisés pour détecter à une distance suffisante les importantes masses nuageuses et plus spécialement les « cumulonimbus » particulièrement dangereux pour la navigation aérienne.

RADAR — DOPPLER

Il s'agit d'un appareillage destiné à mesurer la vitesse réelle d'un avion par rapport au sol. Nous avons respecté cette appellation de « radar-doppler » devenue très usuelle, et nous avons classé ce matériel dans ce paragraphe réservé aux radars... Néanmoins, nous nous empressons de dire que cette terminologie, bien qu'acceptée et adoptée de toutes parts, n'est pas tout à fait correcte;

en tout cas, le principe mis en œuvre est très différent de celui du radar conventionnel.

En effet, comme nous l'avons vu, le radar est un système radioélectrique avec lequel on produit une émission de micro-ondes dirigées qui reviennent ensuite à leur point de départ (antenne) après réflexion sur un ou plusieurs « obstacles » éventuellement situés sur leur trajet. L'émission étant constituée d'un train d'impulsions, le récepteur recueille une série d'impulsions décalées d'une quantité proportionnelle à la distance séparant le radar de l'obstacle réfléchissant; on obtient ainsi des indications sur la position, la distance, de ces obstacles (ou avions). C'est aussi ce principe qui est mis en œuvre dans les radio-sondes-radars vues au paragraphe 6.

Pour le radar-doppler, il nous faut remplacer l'émission en impulsions par une émission continue; l'onde réfléchie permet alors, par exploitation de l'effet Doppler, de déterminer la vitesse de déplacement de l'obstacle, ou bien, si le radar-doppler est monté sur un mobile, de déterminer la vitesse de ce mobile par rapport à un obstacle. Voyons cela de plus près et rappelons brièvement ce qu'est l'effet Doppler.

Il existe une relation bien définie entre la fréquence des ondes émises par une source mobile et la vitesse de déplacement de cette source. Chacun de nous a pu entendre la sirène d'une locomotive lancée à grande vitesse et passant près de soi : la tonalité du sifflement semble varier au fur et à mesure du déplacement. Pourtant la fréquence de la sirène ne varie pas, c'est la fréquence apparente du son reçu qui varie. Ce phénomène valable pour les ondes sonores l'est aussi pour les ondes électromagnétiques; en outre, le phénomène est réversible, c'est-à-dire que la source peut être fixe et l'obstacle mobile.

Ces phénomènes sont d'autant plus importants et sensibles que la fréquence de l'onde émise est plus élevée et que la vitesse du mobile est grande.

Dans tous les cas, la fréquence différentielle apparente (ou fréquence Doppler) est proportionnelle à la vitesse radiale du mobile, et c'est ce qui nous intéresse ici.

Dans l'exemple donné précédemment, remplaçons la locomotive par un avion, et la sirène par un émetteur de micro-

ondes produisant un signal continu de fréquence F_0 rayonné par une antenne directionnelle. Si la faisceau (mobile, puisqu'issu de l'avion) se heurte à une « cible », à un obstacle, à un point fixe (au sol), une partie du signal est réfléchie et est captée par une antenne réceptrice voisine (ou par la même antenne, mais avec duplexeur). Le signal reçu est alors appliqué à un circuit mélangeur; dans ce dernier, la fréquence F_r de l'onde réfléchie est comparée à la fréquence F_0 du signal direct provenant de l'émetteur.

Il se produit donc dans le mélangeur un phénomène de battement entre F_0 et F_r , générant un nouveau signal dont la fréquence est égale à la différence entre F_0 et F_r . Cette fréquence différentielle est alors proportionnelle à la vitesse radiale du mobile, c'est-à-dire de l'avion.

Ce signal est amplifié, puis appliqué à un convertisseur « fréquence/tension » et à un compteur analogique. Le convertisseur produit un courant dont l'amplitude est proportionnelle à la fréquence du signal, c'est-à-dire finalement à la vitesse de l'avion. On peut ainsi obtenir des lectures de vitesse précises à 1 ou 2 %.

Une remarque en passant : nous avons dit que le procédé était facilement réversible; si l'appareillage est fixe et la « cible » mobile, le fonctionnement est le même, et c'est le principe exploité dans les cinémomètres de contrôle routier pour la mesure instantanée de la vitesse des automobiles.

§ 10. — TRANSPONDEUR ET ALTICODEUR

Les vols dans les zones terminales encombrées des aérodromes nécessitent un positionnement exact et rapide de la part du pilote, et une localisation instantanée par l'organisme de « Contrôle ». L'équipement D.M.E. (vu au § 8) est en cela d'un grand secours pour aider le pilote dans son travail.

Quant à l'organisme de « Contrôle », il peut être aidé à son tour par un appareil appelé transpondeur monté à bord des avions.

Le transpondeur est un dérivé de l'I.F.F. militaire (Identification Friend or Foe; c'est-à-dire identification « ami » ou « ennemi »). Cet appareil est destiné, en accablant une « marque » particulière à l'écho de l'avion sur l'écran-radar, à rendre cet avion plus particulièrement visible pour le contrôle.

Il y a donc simplification du travail tant pour les contrôleurs que pour les pilotes, et diminution du risque d'erreur d'interprétation sur l'écran-radar. La circulation aérienne aux abords des aérodromes devient plus fluide, et des facilités d'approche sont généralement accordées de préférence aux avions équipés d'un transpondeur.

Le principe général d'un transpondeur peut s'exposer de la façon succincte suivante :

Un radar secondaire, couplé au radar primaire, émet une « interrogation » composée de deux impulsions espacées de 8 microsecondes. Le transpondeur de bord reçoit cette interrogation, la transforme en fonction du code affiché au tableau de bord et indiqué par le contrôleur; le transpondeur renvoie (2 μ s après la réception de l'interrogation) un train d'impulsions dont la durée totale est de 20,3 μ s; puis 3,35 μ s après, une autre impulsion d'identification lorsque le pilote (à la demande du contrôleur) appuie sur le bouton marqué « Identification ». Cette identification, sur une seule et brève pression du pilote sur le bouton, dure 20 secondes.

Afin que l'avion ne réponde seulement qu'au passage du lobe principal de rayonnement de l'antenne-radar, un signal est émis en permanence par une autre antenne, omnidirectionnelle celle-là. Le transpondeur ne répond alors que dans le cas où les deux impulsions d'interrogation sont plus puissantes que le signal omnidirectionnel.

Sur l'écran-radar, l'opérateur voit à côté de l'écho de l'avion (transmis par le radar primaire), un signal ressemblant au signe = (égal); ce signal devient un seul trait épais en cas d'identification.

L'écho des avions dont le transpondeur est codé d'une façon différente du code affiché par le contrôleur au sol, apparaît souligné d'un simple trait. Celui des avions codés 7700 (code de détresse) est souligné d'un signe =, mais beaucoup plus gras que le signal normal.

Le contrôleur au sol a donc, d'un seul coup d'œil, une vue de tous les avions qui l'intéressent. Les appareils nécessitant une surveillance ou une procédure particulière se détachent d'une manière différente sur l'écran.

Les organismes de Contrôle ont également besoin de connaître en permanence le niveau de vol des avions se trouvant dans leur zone.

Pour cela, on utilise le transpondeur normal et on lui demande de répondre à une interrogation supplémentaire.

La boîte de commande est alors sélectionnée sur le mode A + C [A (Alpha) = position; C (Charlie) = altitude]. Le codage C, au lieu d'être affiché par le pilote, est effectué par un altimètre qui le change tous les 100 pieds.

L'interrogation ressemble à celle dont l'exposé a été fait précédemment; mais elle dure 21 μ s. Elle suit l'interrogation de position. La réponse codée dure 20,3 μ s, 4,3 μ s après une impulsion d'identification.

Sur l'écran-radar, le contrôleur voit alors en clair le niveau de vol indiqué à 100 pieds près; il dispose aussi, en lecture directe, de l'indicatif de l'appareil concerné.

Avec de tels instruments, le rapport de position devient superflu; en outre, l'erreur éventuelle d'altitude devient décelable par le contrôleur qui peut alors, le cas échéant, la signaler au pilote.

LORAN -
CONSOL -
DECCA

Les trois systèmes de radionavigation faisant l'objet de ce titre sont utilisés pour la navigation à grande distance, disons de l'ordre de 1 000 km, voire davantage.

Le système Consol utilise trois antennes verticales situées dans un même plan vertical, les antennes latérales étant alimentées en phase ou en opposition avec l'antenne centrale. On constate que le diagramme directif prend l'aspect d'une rosace à plusieurs folioles; mais lorsqu'on inverse les phases des antennes latérales, la rosace se modifie: à l'emplacement des maxima, on trouve un axe de zéro, et inversement (Fig. III-16). L'émission s'effectue en télégraphie: sur l'une des rosaces, on émet des points; sur l'autre qui lui succède, des traits. Suivant que le pilote entend les uns plus forts que les autres, ou les deux signaux égaux, il sait s'il se trouve sur un quelconque axe tel que D (D₁, D₂, D₃, etc.; Fig. III-17) ou sur le côté de cet axe. En fait, il lui suffit de percevoir l'égalité de réception pour suivre l'axe prévu.

Il existe plusieurs stations Consol en Europe pour la navigation transatlantique, en particulier à Plonéis, près de Quimper.

Le réseau Consol utilise des fréquences comprises entre 195 et 405 kHz.

Le Loran est un procédé qui utilise l'émission en impulsions; le principe est le suivant: si deux stations émettent au même instant une impulsion, l'avion les recevra décalées l'une par rapport à l'autre (sauf s'il est à égale distance des deux stations) et le lieu géométrique des points qui reçoivent les impulsions avec un même décalage dans le temps est une hyperbole (Fig. III-18). On peut donc, sur une carte, tracer les hyperboles correspondant à toute une série de retards déterminés. Si l'on utilise deux autres stations, on déterminera une autre famille d'hyperboles et le pilote peut ainsi déterminer sa position d'après la lecture des retards sur chacune des deux familles de Loran.

Ce procédé a fait l'objet de divers perfectionnements connus sous le nom de Loran standard (ou Loran A) et le Loran basse fréquence (ou Loran C). Le Loran est actuellement utilisé sur un grand nombre de parcours aériens d'Europe, d'Amérique et d'Orient.

Le réseau Loran utilise des fréquences de la bande 1,9 MHz.

Dans beaucoup d'équipements, les impulsions reçues par le récepteur sont appliquées à un tube cathodique qui permet la nette

séparation de l'onde réfléchie et de l'onde directe et, par conséquent, donne la possibilité d'utiliser le système à très grande distance dans de bonnes conditions (même en propagation de nuit où la gêne produite par l'onde réfléchie sur l'onde directe est bien connue).

Un autre système de radionavigation, souvent classé dans les systèmes pour moyenne distance, est le procédé DECCA. Il est d'origine anglaise et son nom (tout au moins) est bien connu, car le procédé fut utilisé avec succès pour le débarquement en 1944 en Normandie.

Le système DECCA est apparenté au procédé Loran en ce sens qu'il utilise, lui aussi, le système de navigation hyperbolique; mais les fréquences émises sont plus élevées et les impulsions plus courtes. Le récepteur est équipé d'un système à cadran qui permet de compter les hyperboles, l'aiguille faisant un tour lorsque la différence de phase augmente de 2π . En combinant la réception sur cadran de deux familles d'hyperboles, le pilote lit directement son emplacement sur les cartes spéciales.

Ce système a une précision élevée de l'ordre de 30 m de jour et 100 m de nuit (à courte distance).

La figure III-19 montre la zone de couverture DECCA pour l'Europe Occidentale.

Examinons ce procédé avec un peu plus de détails.

Dans ce système, on compare les phases des ondes entretenues reçues de deux stations synchronisées, en ondes longues.

Une chaîne Decca comprend généralement une station émettrice principale et trois stations asservies produisant trois réseaux d'hyperboles, repérés par les couleurs conventionnelles rouge, vert et violet.

Comme il serait impossible de séparer dans un récepteur des ondes entretenues de fréquences égales, les différentes stations émettent des ondes dont les fréquences sont des multiples entiers d'une même fréquence de base; dans chaque station asservie, cette fréquence de base est fournie par un récepteur démultiplicateur recevant l'émission de la station principale.

(suite page 137)

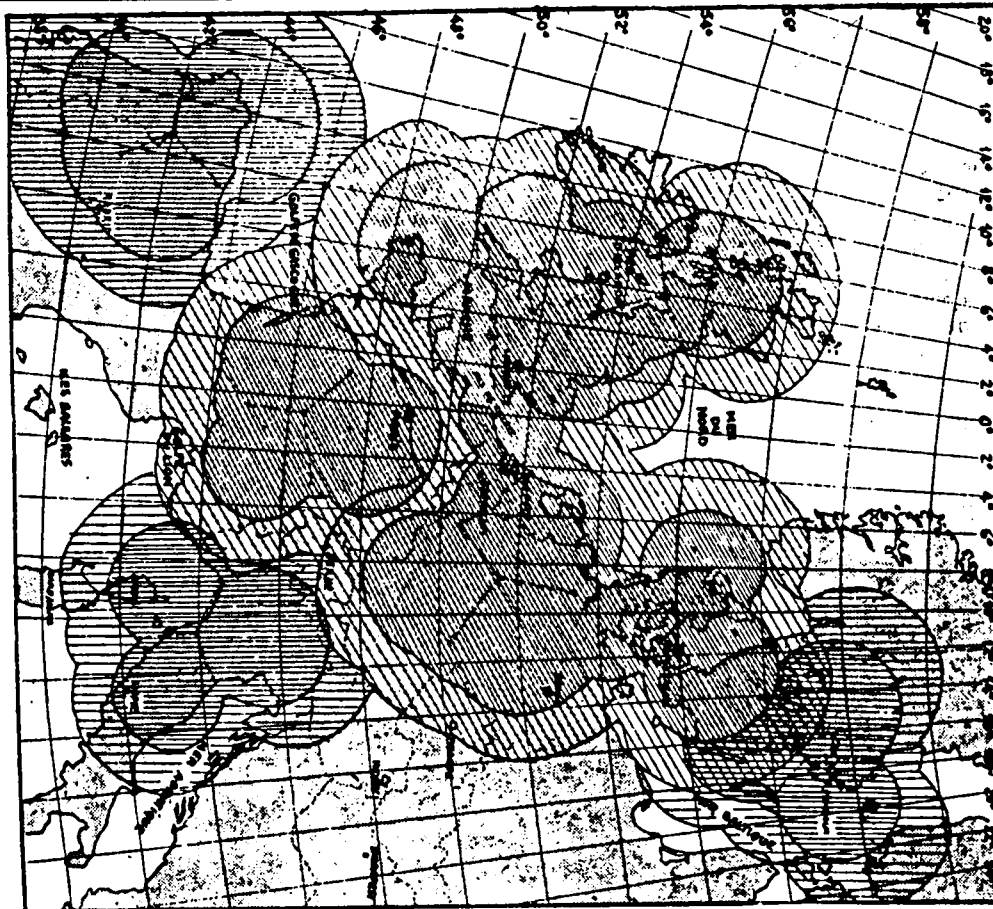


Fig. III - 19

Dans le récepteur de bord, les deux ondes à comparer sont, par des opérations de division ou de multiplication, ramenées à une même fréquence dite de comparaison. Plus cette fréquence de comparaison est élevée, plus faible est la distance séparant deux hyperboles successives de même différence de phase et la précision plus grande.

Comme à une même différence de phase correspond un grand nombre d'hyperboles, un procédé d'identification de celles-ci a été réalisé. Il consiste à remplacer périodiquement les fréquences émises par des fréquences plus basses, c'est-à-dire à substituer au réseau normal d'hyperboles un réseau beaucoup plus écarté. Une comparaison des lignes de positions possibles dans les deux réseaux permet de lever le doute en ce qui concerne la position dans la zone séparée par deux hyperboles du réseau écarté. Le dégrossissage de zone doit être effectué par un autre procédé de navigation.

La fréquence de base est de 14 kHz environ; les fréquences des émetteurs s'échelonnent de 70 kHz à 129 kHz.

La portée, qui est de l'ordre de 240 milles, peut atteindre plus du double avec une précision, de jour, de l'ordre de 1 000 m à 300 milles. La nuit, la précision est moins grande; des variations apparaissent à grande distance en particulier.

Le relief peut avoir aussi une influence et apporter des perturbations dont il faut tenir compte.

Dans ce but, des corrections sont indiquées sur les cartes spéciales éditées par la Société Decca.

Pour l'utilisation de ses appareils en navigation aérienne, cette Société a été conduite à étudier l'enregistrement continu de la route suivie. C'est ce qui a été réalisé à l'aide d'un traceur de route que l'on a appelé aussi « flight log ».

Ce système bénéficie de perfectionnements apportés au cours d'une exploitation déjà longue qui en garantit la sécurité et d'une infrastructure en constant développement.

A la première chaîne d'émission de la Tamise, ont succédé dans les îles britanniques, une chaîne en Écosse et une autre en Cornouailles.

La couverture du nord de l'Europe occidentale a été complétée par la mise en service d'une chaîne au Danemark et d'une chaîne en Allemagne.

Enfin, en France, une chaîne a

été érigée avec la station principale près de Montluçon, les stations asservies au voisinage de Tours (rouge), Chalon-sur-Saône (verte), Aurillac (violette).

Quelles satisfactions peuvent apporter ces moyens de radionavigation à longue et moyenne distances? En d'autres termes, quels sont leurs avantages et leurs inconvénients?

A grande distance, le LORAN est intéressant; mais aux inconvénients déjà cités, il faut ajouter le travail de lecture sur l'écran oscilloscopique exigeant plusieurs minutes et qui est une charge non négligeable pour le navigateur.

Le CONSOL est également intéressant; mais il a contre lui, par rapport aux grandes vitesses des avions, la durée de la période de rotation ne permettant d'effectuer qu'une mesure en 40 secondes.

A moyenne distance, le DECCA offre, nous l'avons vu, outre une infrastructure importante, l'avantage de son traceur de route. Mais il a contre lui, pour les parcours terrestres, les influences qu'il subit de la part du relief du sol.

Il présente aussi cet inconvénient qui est l'ambiguïté de position. Le système d'identification des « channels » ne lève que partiellement cette ambiguïté, puisqu'il se contente de définir des groupes de 18 à 30 « channels » (suivant le réseau), la largeur de ces « super-channels » correspondant à la fréquence de 14 kHz (soit 10,7 km) — largeur mesurée sur l'axe focal. Ainsi, plusieurs avions espacés l'un de l'autre d'une dizaine de kilomètres sur un axe focal peuvent enregistrer les mêmes indications sur leurs appareils de bord, sans aucune possibilité de lever cette ambiguïté de position.

Certes, l'ambiguïté n'existe pas, si certaines conditions sont remplies, en particulier si l'avion a pris le départ à l'intérieur d'une chaîne DECCA. Mais un avion venant de l'extérieur dans une chaîne DECCA ne peut l'utiliser sans crainte d'erreur que s'il connaît, par un procédé différent, sa position précise à quelques kilomètres près.

Pour en terminer avec la radionavigation à grande distance, disons que présentement, on fonde de grands espoirs aux U.S.A. sur un nouveau mode de navigation à ondes ultra-longues, dit « Système Oméga », qui donne des portées extraordinaires à un nouvel appareil récepteur de radionavigation, si bien qu'il suffirait d'un nombre très réduit d'émetteurs...

(à suivre)