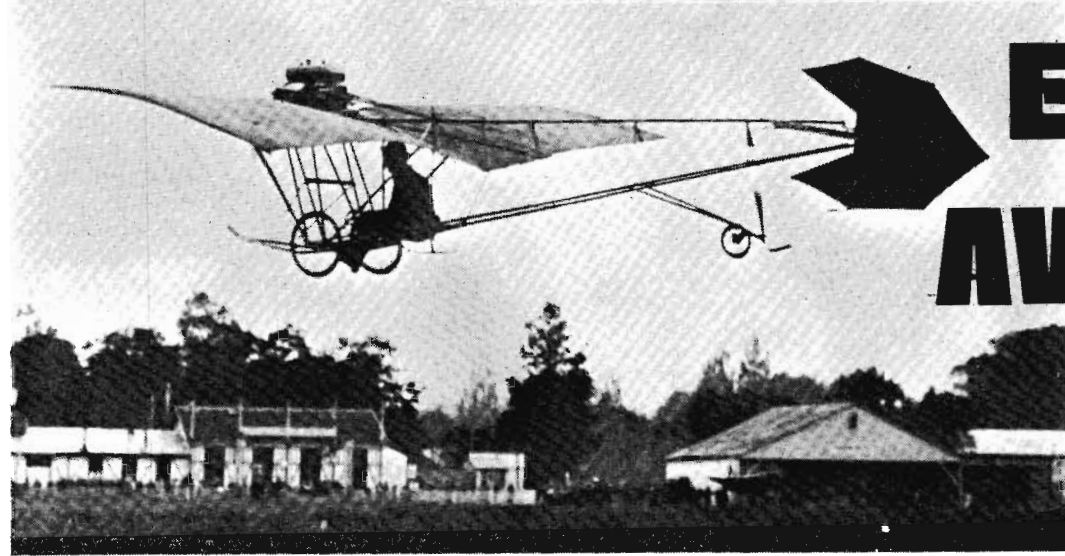


ELECTRONIQUE



ET AVIATION

LA RADIONAVIGATION

§ 1. - GÉNÉRALITÉS

COMME nous l'avons dit, l'électronique a apporté depuis de nombreuses années déjà, dans le domaine de l'aide à la navigation aérienne, une contribution certaine évitant aux avions de naviguer à l'aveuglette... ou presque.

Le plus ancien procédé de radionavigation fait appel à la goniométrie.

Le but de la radiogoniométrie est de déterminer à partir d'un point (fixe ou mobile) la direction d'un émetteur (mobile ou fixe). De ce fait :

- Ou bien l'avion émet un signal, et des stations fixes (au moins deux, sinon trois) en déterminant chaque direction de l'émission, peuvent lui indiquer par recoupement son emplacement par un message radio. C'était le cas des stations au sol dites « fixers » qui ne sont pratiquement plus employées. Maintenant, on utilise le radiogoniomètre VHF automatique (ou VDF) généralement situé sur un aérodrome et

qui, par simple observation sur un écran de tube cathodique, permet d'indiquer rapidement à l'avion le cap à suivre (QDM) pour arriver à la verticale de l'aérodrome.

- Ou bien l'avion peut déterminer la direction (par rapport au Nord) de différentes stations reçues à bord (radio-phares, radiobalises, ou stations de radiodiffusion) dont les émissions et les emplacements sont connus; ce qui permet au pilote de déterminer lui-même sa position. Dans d'autres cas plus simples, la station au sol peut se trouver précisément dans la direction (le cap) que doit suivre l'avion; l'utilisation est alors grandement facilitée: le pilote se fait « tirer » par la station grâce à son radio-compass; il va droit dessus...

La radiogoniométrie, avec les différents appareils modernes exploitant le principe, n'est pas le seul moyen de radionavigation; mais comme c'est le plus ancien, c'est par lui que nous commencerons... sans pour autant passer sous silence l'examen des appareils les plus récents mis en œuvre dans ce domaine.

§ 2. - RADIOGONIOMÈTRE

Le radiogoniomètre de bord n'est pratiquement plus employé à l'heure actuelle; il importe cependant de bien connaître son principe de fonctionnement, lequel nous aidera à comprendre celui du radiogoniomètre automatique ou radio-compass (ADF).

Le radiogoniomètre de bord est un appareil, récepteur de radio

spécial à ondes moyennes, qui permet au pilote de « relever » lui-même un émetteur terrestre par rapport à la direction de l'avion; le calage de référence (zéro) est donc l'axe longitudinal de l'avion. L'angle obtenu s'appelle le gisement. Le radiogoniomètre porte parfois le nom de radio-compass manuel, ce qui le distingue du radio-compass (tout court) ou radio-compass automatique que nous verrons plus loin.

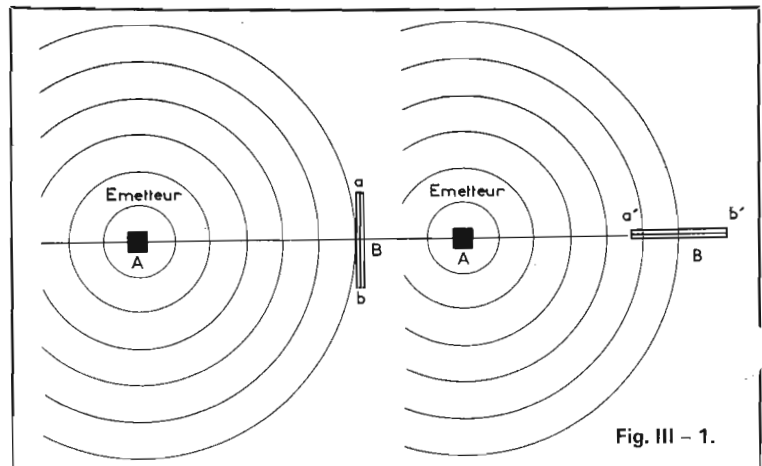


Fig. III - 1.

Le principe fondamental du radiogoniomètre de bord repose sur la propriété directive d'un cadre; voir figure III-1.

Lorsque le plan a b de spires du cadre est tangent à la ligne de force du champ électromagnétique passant en B, la composante « magnétique » ne traversera pas le bobinage et la tension induite sera nulle.

Par contre, si le cadre est en position, a' b', les lignes de force traversent les spires du cadre et la tension induite est maximum;

En résumé, un cadre orientable commandé à partir du bord de l'avion, ne délivrera aucune tension HF induite au récepteur radio faisant suite lorsque le plan des spires de ce cadre fera un angle de 90° avec la direction de la propagation.

Il est donc d'ores et déjà possible de déterminer la direction de l'émetteur terrestre que l'on reçoit avec un doute de 180°. Cette détermination peut cependant présenter quelques petites erreurs (de quelques degrés jusqu'à 10 ou 15° maximum) dues notamment aux masses métalliques de l'avion. Ces erreurs quadrantes sont corrigées par des dispositifs spéciaux, une fois pour toutes, lors de l'installation de l'appareillage (circuits correcteurs réglables proches du cadre proprement dit).

Il reste donc à lever ce doute de 180°. La solution consiste à attaquer l'entrée de l'amplificateur HF du récepteur simultanément avec les tensions induites dans le cadre et dans une petite antenne auxiliaire fixe, amarrée le long du fuselage, dite « antenne de lever de doute »

La figure III-2, en A, représente, sous la forme d'un vecteur OA, la

f.e.m. induite dans le cadre en fonction de son inclinaison α avec la direction de l'émetteur. Il est plus facile, pratiquement, de repérer la position qui donne une réception nulle, plutôt que la position donnant l'audition maximum (orientation plus pointue). En adjoignant une antenne de lever de doute, antenne sans effet directif, la f.e.m. recueillie par cette antenne est indépendante de la direction de l'émetteur, et cette f.e.m. peut être représentée par une circonférence de centre O et de rayon R (en B, fig. III-2).

On règle les circuits de cadre et d'antenne de façon que les f.e.m. cadre et antenne soient sensiblement égales (lorsque le cadre est en position de réception maximum). L'efficacité de l'ensemble (depuis la position en « phase » jusqu'à la position « en opposition de phase ») est alors représentée par la courbe cardioïde en trait renforcé, courbe obtenue en ajoutant pour chaque valeur de l'angle α , au vecteur O A représentant l'efficacité du cadre, le vecteur A B (soit R) représentant l'efficacité constante de l'antenne. La réception nulle ne peut donc plus être obtenue que pour une seule direction.

Le cadre est entraîné par l'intermédiaire d'un câble souple dans une gaine; sa commande (bouton ou manivelle) se situe sur le tableau de bord. Une aiguille tourne en même temps que le cadre et se meut sur une rose des vents graduée en degrés; elle permet au pilote de lire l'angle de gisement.

Le récepteur, par lui-même, ne présente rien de particulier; il est du type à changement de fréquence, à lampes ou à transistors. Plusieurs gammes de fréquences

sont généralement prévues dans ce qu'il ait convenu d'appeler les GO, les MO et les PO, c'est-à-dire dans les bandes où se situent les balises, les radio-phares ou les stations de radiodiffusion susceptibles d'être utilisées. Il convient de noter que la balise ou le radio-phare n'est pas toujours forcément sur la route à suivre; mais par une méthode de navigation simple, le radiogoniomètre permet tout de même de déterminer la « position » ou le « travers ».

§ 3. - RADIO-COMPAS AUTOMATIQUE (ou ADF)

Le radio-compass est un radiogoniomètre perfectionné, dont le seul inconvénient est d'être très cher! Cet appareil a pour but de fournir aux pilotes une indication continue et automatique du gisement de la station sur laquelle le récepteur est accordé.

C'est, en quelque sorte, un véritable opérateur-radio-robot qui passe son temps à rechercher le minimum d'audition « cadre », l'indication du relèvement étant fournie en permanence par un indicateur placé en face du pilote.

Les éléments essentiels de l'appareillage sont représentés sur la figure III-3; il s'agit :

- 1° d'un cadre C entraîné par un moteur à champ tournant M;
- 2° d'un récepteur RCV et de sa boîte de commande B;
- 3° un circuit d'asservissement-moteur dont le rôle est précisément d'entraîner sans cesse le cadre à la recherche de l'extinction, et de le maintenir dans cette position d'extinction quel que soit le déplacement de l'avion;
- 4° un ensemble « magnésyn » répertant à distance sur l'indicateur

de bord les gisements. (l'orientation du cadre).

L'âme de l'appareil, le robot, est évidemment le circuit d'asservissement-moteur; il comporte essentiellement deux relais électroniques (transistor ou thyristor) montés de façon telle qu'ils soient sensibles à la phase de la tension de commande U issue du récepteur. Ils délivrent donc une tension d'alimentation pour le moteur M entraînant le cadre, tension d'un sens, ou d'un autre, ou nulle, selon que le cadre est à droite, à gauche, ou dans l'axe de la station reçue.

Le radio-compass fonctionne sur les mêmes gammes de fréquences que le radiogoniomètre ordinaire; également, il existe des modèles à lampes, d'autres (les plus récents) à transistors. Les radio-compass présentent généralement une position spéciale du contacteur permettant la possibilité de l'utilisation en « gonio » ordinaire; dans ce cas, le cadre n'est plus asservi. On le fait tourner électriquement par la manœuvre d'un bouton « droite-gauche ». Le cadre reste alors dans la position voulue; il ne va plus rechercher, tout seul, la position d'extinction.

Disons enfin que radiogoniomètres et radio-compass sont en outre munis d'un BFO, ce qui permet d'hétéodyner et de rendre plus lisibles les signaux morses d'identification transmis en ondes entretenues pures (non modulées) par certaines balises.

D'autres conceptions de radio-compass automatiques sont possibles; mais le principe reste absolument le même.

§ 4. - V.O.R. (Visual omni-range)

Un système d'aide à la navigation très répandu et très utilisé est

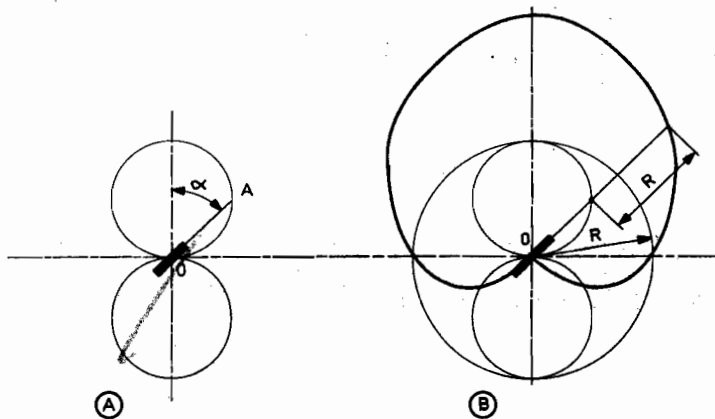


Fig. III - 2.

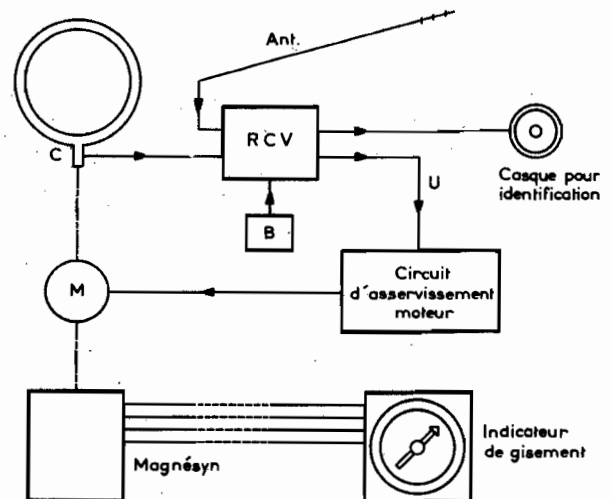


Fig. III - 3.

le V.O.R. En fait, l'O.A.C.I. a standardisé le système V.O.R. comme moyen de balisage des territoires.

Le système V.O.R. fonctionne sur VHF dans la bande 108 à 118 MHz, avec possibilité de répartition des fréquences tous les 100 kHz. A ce titre, il présente les avantages et les inconvénients de ces fréquences, à savoir : insensibilité aux parasites atmosphériques; zone d'utilisation limitée à la portée optique (fonction de l'altitude de l'avion et du relief du sol).

Les spécifications O.A.C.I. indiquent :

Portée maximum : 100 milles marins en vue directe et pour les angles de site inférieur à 40°.

Précision du relèvement : $\pm 2^\circ$ à une distance de 12 milles marins.

Avant d'examiner comment fonctionne le récepteur V.O.R. monté à bord de l'avion, il convient d'abord de savoir ce qui se passe à l'émission... car c'est assez spécial.

Le V.O.R. est un radio-phare VHF à correspondance « Azimut-phase », ce qui signifie que la mesure de l'azimut s'effectue à partir d'une mesure de phase.

A l'émission (antenne au point O, fig. III-4), nous avons :

a) le rayonnement uniforme d'une onde VHF sur tout l'horizon (diagramme circulaire C);

b) le rayonnement d'un faisceau dirigé, sur la même fréquence, tournant à la vitesse uniforme de 30 tours par seconde (faisceau F).

A la réception, nous recevons donc :

a) l'émission du diagramme C avec une amplitude constante;

b) l'émission du diagramme tournant F avec une amplitude périodiquement variable au rythme de la rotation.

Quelle que soit la position de l'avion autour du point O, la réception du faisceau F se manifestera sous la forme d'une onde modulée à 30 Hz, puisque le faisceau tourne à la vitesse de 30 tours seconde. Néanmoins, il est évident que la phase de cette modulation à 30 Hz sera différente selon la position de l'avion autour du point O. Mais pour apprécier la phase ou plus exactement la position de la phase, il nous faut une référence, un signal de référence. Pour cela, l'émission à rayonnement circulaire C est le « support » d'une modulation à 30 Hz à phase de référence.

Dans le but de permettre la séparation du signal tournant F à 30 Hz et du signal de référence également à 30 Hz, le processus suivant a été adopté : l'émission VHF à rayonnement circulaire est modulée en amplitude à 9 960 Hz \pm 480 Hz. Cette variation périodique de \pm 480 Hz autour de 9 960 Hz s'effectuant précisément 30 fois.

L'appareillage de bord opère les fonctions suivantes (voir figure III-5) : Du fait de la variation périodique s'effectuant 30 fois par seconde, on obtient une sous-modulation en fréquence à 30 Hz « alignée » suivant la phase de référence. A la réception, il suffit alors de mettre en évidence cette dernière modulation pour pouvoir lui comparer celle du signal tournant.

En outre, l'émetteur V.O.R. transmet périodiquement, en code morse, son indicatif (signaux modulés à 1 020 Hz). Il importe, en effet, de savoir et d'être certain que le récepteur de bord V.O.R. est bien réglé sur l'émission désignée; d'où, la nécessité de l'identification.

L'appareillage de bord opère les

fonctions suivantes (voir fig. III-5) :

1° Il reçoit la bande VHF 108 à 118 MHz environ dans laquelle se situent les V.O.R.

2° Il met en évidence par détection et sélection le signal F à 30 Hz, signal à phase variable selon la position de l'avion par rapport à l'émetteur V.O.R.

3° Il met en évidence par sélection le signal C à 9 960 Hz modulé en fréquence, et il extrait de ce dernier signal, au moyen d'une nouvelle détection, la composante de modulation en fréquence à 30 Hz constituant le signal de référence.

4° Il compare les deux signaux à 30 Hz (phase variable et phase de référence) dans un phasemètre dont l'aiguille donne l'azimut.

En complément, le récepteur V.O.R. comporte un indicateur « to-from » renseignant le pilote si l'avion se dirige sur le V.O.R. (QDM) ou s'il l'a dépassé (QDR).

Diverses réalisations pratiques ont été présentées. Citons, par exemple, le sélecteur indicateur de cap par commutateur de 30° en 30°, avec aiguille d'étalement de $\pm 15^\circ$ autour de chaque position; citons aussi la conjugaison électrique du phasemètre et du répéteur « flux gate » (indicateur de cap). Dans ce dernier cas, les « informations » des deux appareils sont reçues dans un « autosyn » différentiel répétant la différence des angles; à la sortie, nous avons un indicateur radiomagnétique donnant directement le gisement de la station V.O.R.

§ 5. - ÉQUIPEMENT V.O.R. - I.L.S. D'UN AVION DE LIGNE

D'après cet exposé succinct et rapide du fonctionnement du V.O.R. à l'émission et à la réception, nous allons examiner plus en

détails un équipement V.O.R. - I.L.S. d'avion de ligne; disons cependant que de telles installations tendent à se généraliser de plus en plus, même sur des avions plus petits, avions d'affaires par exemple.

En fait, l'équipement de radionavigation V.O.R. proprement dit est le plus souvent jumelé au dispositif I.L.S. (dispositif d'atterrissage aux instruments). Et bien entendu, comme nous l'avons déjà dit, sur les avions « longs courriers », l'ensemble V.O.R. - I.L.S. est « doublé »... en cas de panne de l'un d'eux.

Un équipement V.O.R. - I.L.S. permet donc la radionavigation à l'aide des signaux transmis par les radio-phares VHF omnidirectionnels (V.O.R.) et l'approche suivi de l'atterrissage sans visibilité (I.L.S.) en suivant les faisceaux émis par les émetteurs de radioguidage latéral (localizer) et vertical (glide slope).

En ce qui concerne la navigation par V.O.R., rappelons que deux signaux à 30 Hz sont extraits de l'onde rayonnée, par les circuits du récepteur; l'un est nommé signal phase de référence parce que sa phase est invariable quelle que soit la position du récepteur en azimut; le second signal est appelé signal à phase variable parce que son déphasage par rapport au signal de référence varie comme l'azimut, le Nord étant la position pour laquelle les deux signaux sont en phase.

En fait, le champ d'un émetteur V.O.R. est produit par une antenne omnidirectionnelle et par une antenne à champ tournant (30 révolutions par seconde); ces deux antennes sont situées au même lieu, rayonnent la même fréquence porteuse, et sont à polarisation horizontale. Le diagramme polaire de l'antenne omnidirectionnelle est un cercle, celui de l'autre antenne

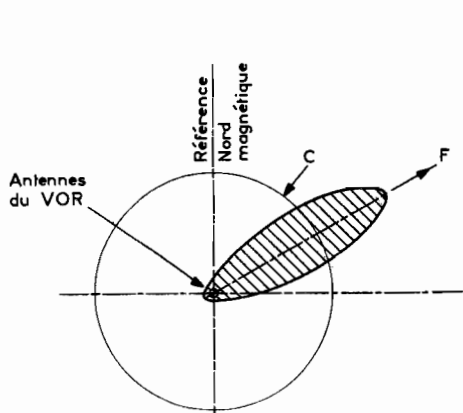


Fig. III - 4.

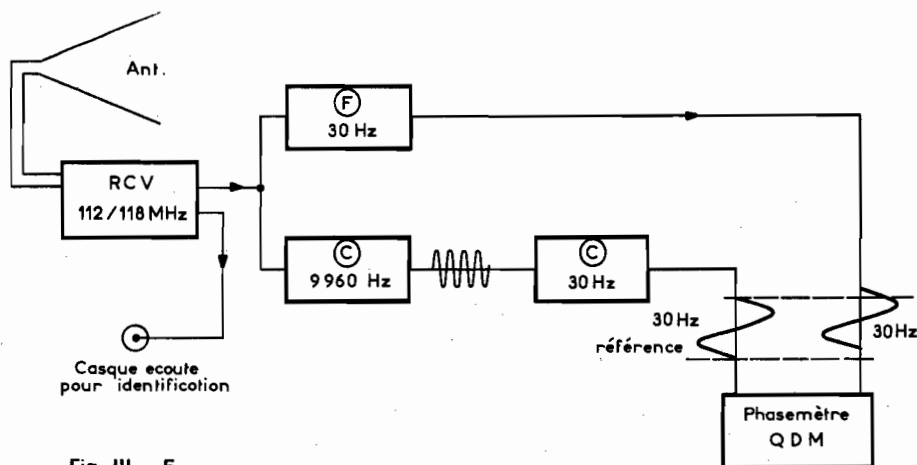
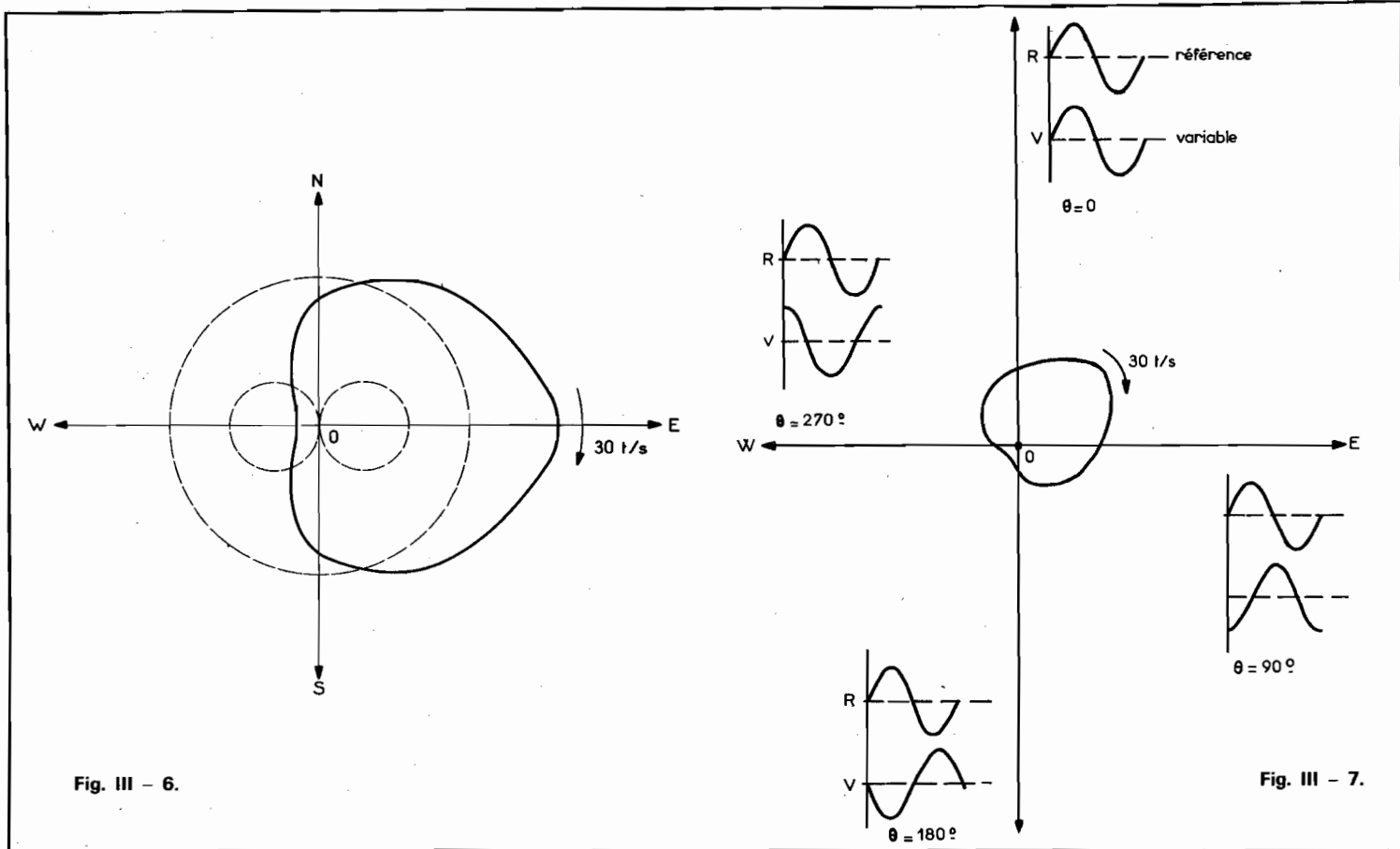


Fig. III - 5.



est un 8 tournant. La composition du rayonnement des deux antennes donne un diagramme résultant en cardioïde effectuant 30 tours par seconde (fig. III-6).

Les deux antennes sont disposées de façon telle que leur rayonnement soit en phase au Nord magnétique de la station V.O.R. Lorsque l'avion est au Nord, il reçoit deux signaux en phase; s'il est à 90° (Est), le déphasage est de 90°; s'il est à 180° (Sud), le déphasage est de 180°; etc. (voir figure III-7).

Ce sont ces divers déphasages qui sont mesurés et exploités par les circuits de sortie (phasemètre) du récepteur VOR, selon l'emplacement de l'avion par rapport à l'émetteur, et qui renseignent le pilote sur sa position.

Très schématiquement, on peut donc aller jusqu'à dire que l'émetteur V.O.R. rayonne 360 faisceaux partant radialement de ses antennes et séparés entre eux de 1°...!

Le pilote peut ainsi choisir l'un quelconque de ces faisceaux comme route à suivre en affichant l'axe qui correspond à un déphasage donné; il est ensuite renseigné à tout instant sur la déviation de sa route (s'il va vers la station ou s'il s'en éloigne) ou sur son gisement par rapport à la station. Les

informations V.O.R. apparaissent sur les instruments de vol (indicateur VOR, notamment) et peuvent être éventuellement appliquées au « pilote automatique ».

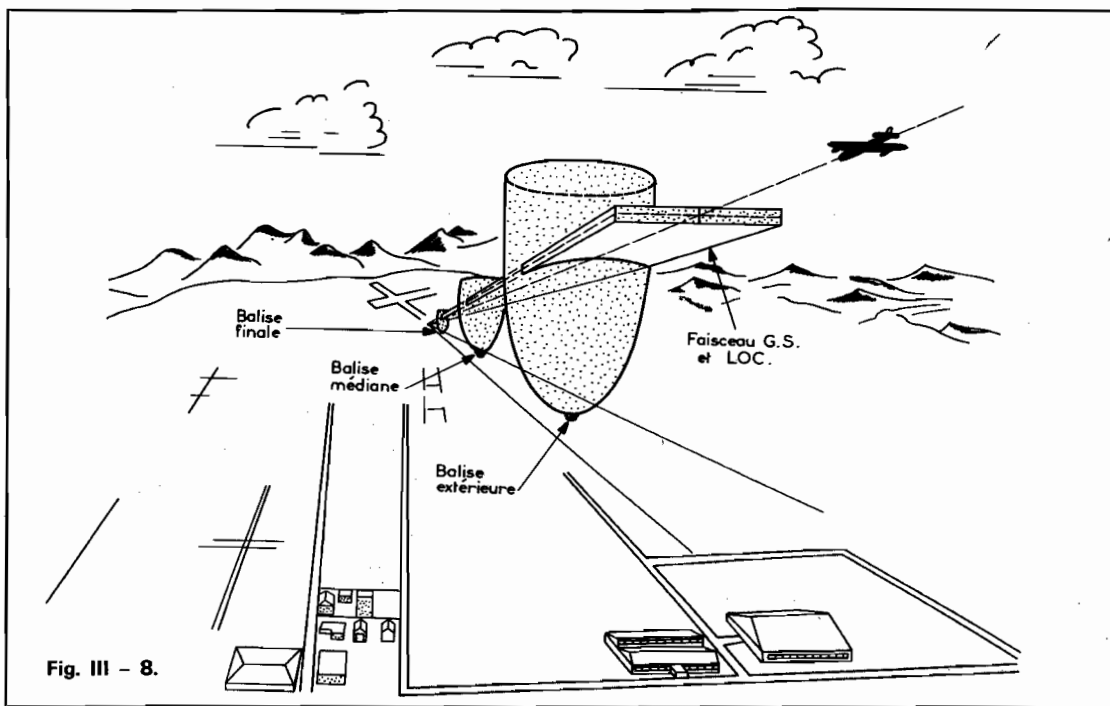
Le dispositif I.L.S. (atterrissage aux instruments; voir fig. III-8) matérialise une trajectoire de prise de terrain par l'intersection de

deux nappes d'ondes de guidage émanant d'un radio-phare d'alignement VHF situé à une extrémité de la piste d'atterrissage, dans l'axe de celle-ci; il s'agit du « localizer »

En outre, nous avons un émetteur UHF de trajectoire de descente situé à la hauteur du point

où l'avion doit prendre contact avec la piste glide-slope. Ces deux nappes sont émises sur des fréquences porteuses qui sont donc très différentes; mais elles sont modulées chacune sur 150 Hz d'un côté de l'intersection et sur 90 Hz de l'autre côté.

Sur la figure III-9, en vue de



§ 6. - RADIO-SONDES (OU RADIO-ALTIMÈTRES)

RADIO-SONDE A MODULATION DE FRÉQUENCE

Nous commencerons par l'exposé du principe de la radio-sonde à modulation de fréquence parce que ce fut le premier procédé radioélectrique à avoir été pratiquement exploité pour la détermination instantanée de la hauteur d'un avion par rapport au sol.

En effet, il convient ici de bien distinguer hauteur et altitude. L'altitude est la distance verticale entre l'avion et le niveau moyen de la mer; elle est indiquée à l'aide d'un altimètre qui n'est qu'une simple capsule barométrique fonctionnant d'après la variation de la pression atmosphérique (la pression standard diminue de 86 mm de mercure, soit de 120 millibars, quand on s'élève de 0 à 1 000 mètres, c'est-à-dire de 0 à 3 300 pieds environ).

Mais le sol n'est pas plat; il y a des collines, des montagnes... et l'altimètre précédemment cité ne modifie pas pour autant son indication. C'est ici qu'intervient la notion de hauteur qui est la distance verticale de l'avion par rapport au sol (quel qu'il soit, c'est-à-dire celui qui est au-dessous à l'instant considéré!). C'est ainsi que l'on peut être à une altitude de 2 000 mètres et être à une hauteur de 100 mètres si l'on a une montagne de 1 900 mètres au-dessous de soi... Les radio-sondes renseignent donc sur la hauteur de l'avion par rapport au sol.

Une radio-sonde à modulation de fréquence comporte un émet-

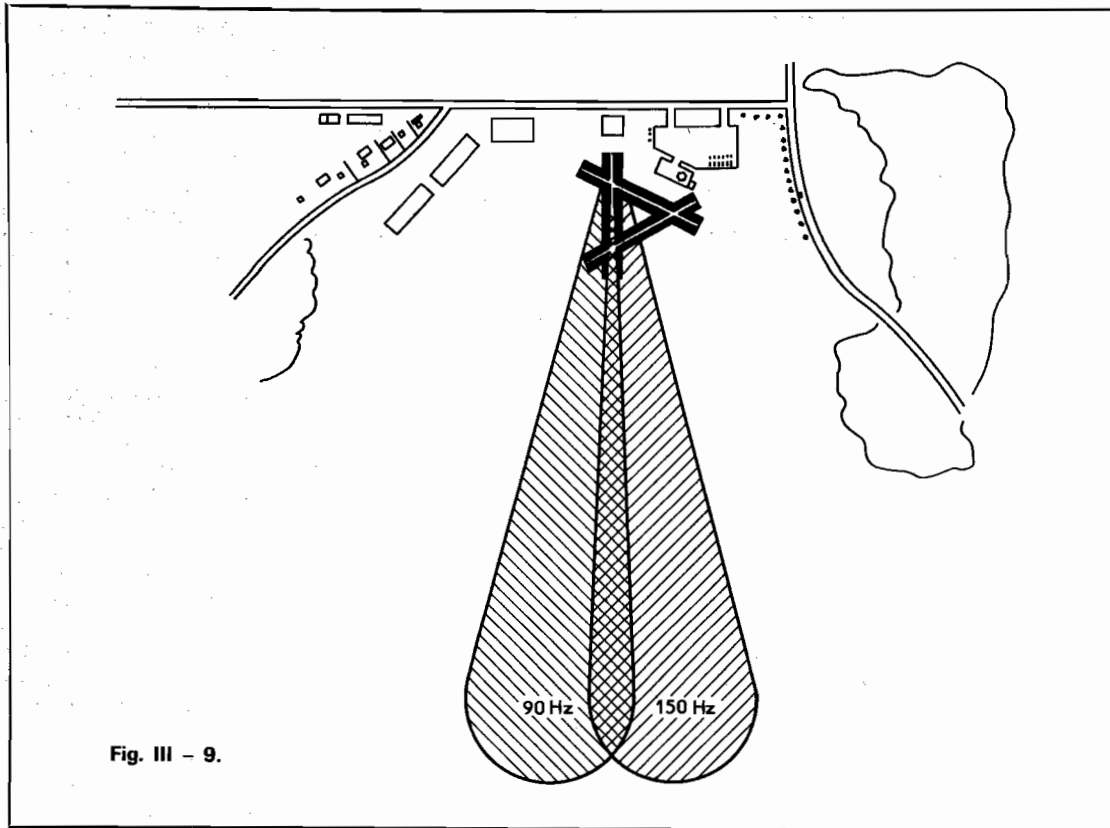


Fig. III - 9.

dessus, nous matérialisons le faisceau du localizer, et sur la figure III-10, en vue de profil, celui du glide-slope.

Ces signaux sont « comparés » dans le récepteur et appliqués aux indicateurs qui représentent la position de l'avion par rapport aux faisceaux localizer et glide-slope.

Comme dans le cas du V.O.R., les informations de l'I.L.S. peuvent éventuellement être couplés au « pilote automatique ».

Les ensembles récepteurs VOR - ILS permettent généralement la réceptions des fréquences suivantes :

VOR : de 108 à 111,8 MHz en canaux tous les dixièmes pairs de mégahertz; de 112 à 117,9 MHz en canaux tous les dixièmes pairs et impairs de mégahertz.

Localizer : de 108,1 à 111,9 MHz en canaux tous les dixièmes impairs de mégahertz.

Glide-slope : de 329,3 à 335 MHz en canaux jumelés avec les fréquences du localizer.

Des renseignements complémentaires sur l'emplacement de l'avion dans sa trajectoire de descente sont fournis au pilote à l'aide de trois balises dites balise extérieure, balise médiane ou intermédiaire et balise intérieure ou finale (voir fig. III-8). Ces balises portent également les noms de

« radio-bornes » ou « markers-beacons »; elles fonctionnent sur 75 MHz et rayonnent chacune un faisceau vertical modulé. Ces balises sont reçues à bord au moyen d'un récepteur spécial. Au passage de l'avion dans chacun de ces faisceaux, le récepteur de bord fait entendre un son différent et provoque l'allumage d'une ampoule de couleur différente selon qu'il s'agit de la première, de la seconde ou de la dernière balise.

* *

Pour terminer, revenons un instant à la navigation par V.O.R. et précisons que l'indicateur VOR du tableau de bord est complété :

- par un voyant « To-From » dont le rôle principal est de renseigner le pilote lorsque le dépassement de la station est détecté par le récepteur et vient d'être effectué;

- par un « drapeau » d'alarme qui apparaît si les signaux reçus sont trop faibles pour être interprétés correctement et valablement, ou si un défaut quelconque existe dans l'équipement.

Nous aurons d'ailleurs l'occasion de revenir longuement et en détail plus loin (au chapitre IV) sur l'utilisation et les interprétations des indications fournies par le récepteur VOR.

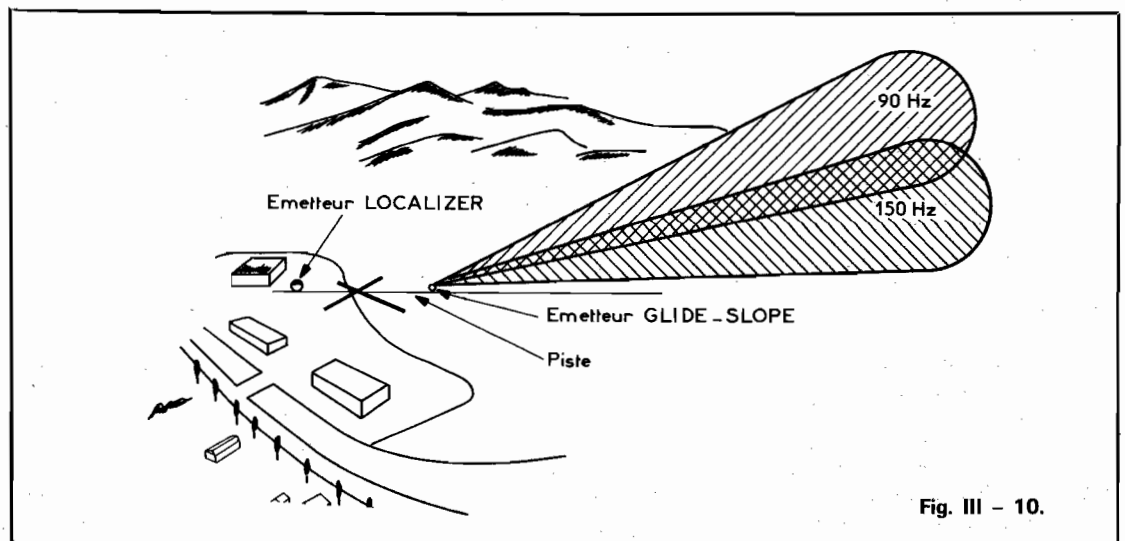


Fig. III - 10.

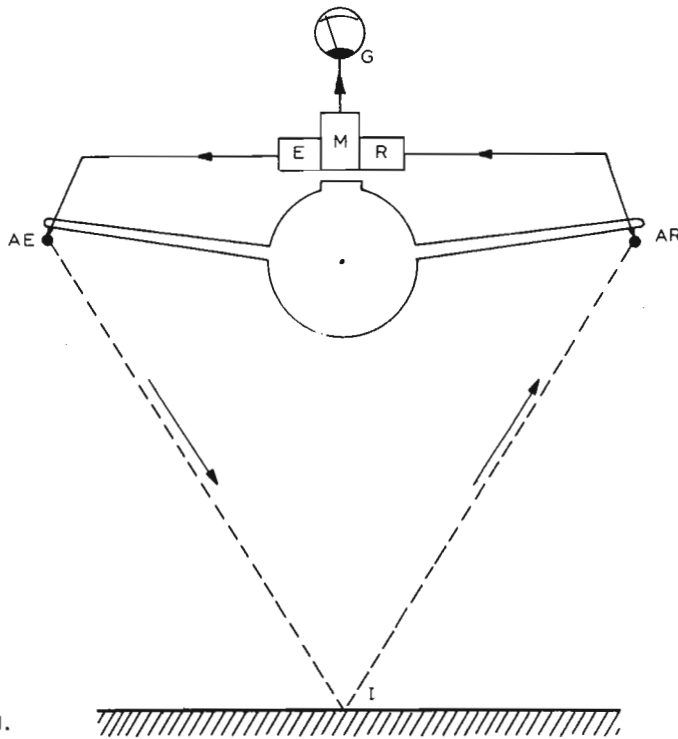


Fig. III - 11.

teur E de fréquence variable (et d'amplitude constante) : fréquence moyenne de l'ordre de 400 MHz, variation de l'ordre de 40 MHz, 120 fois par seconde. Cet émetteur alimente une antenne d'émission AE, type demi-onde, parallèle au fuselage (voir figure III-11 où l'avion est supposé être vu de face). Cette antenne rayonne une onde qui, en se réfléchissant sur le sol en I, atteint une antenne de réception AR attaquant l'entrée d'un récepteur R.

A l'instant précis où l'onde réfléchie atteint le récepteur, la fréquence de l'émetteur a légèrement varié; il y a donc une légère différence de fréquence entre la fréquence de l'onde réfléchie et celle de l'émetteur à l'instant considéré. Cette différence augmente avec la hauteur de l'avion par rapport au sol, car alors le temps nécessaire à l'onde réfléchie pour se propager est plus long, et donc la fréquence de l'émetteur a le temps de varier d'une plus grande quantité.

Si la fréquence de l'émetteur varie proportionnellement au temps, la différence des fréquences est proportionnelle à la hauteur de l'avion.

Les deux fréquences (de l'émetteur et de l'onde réfléchie) interfèrent dans un circuit de mesure M, et l'interférence est détectée; on recueille alors une tension d'une fréquence X (inférieure à 8 000 Hz). La mesure de la hauteur de l'avion se ramène donc à la mesure de la fréquence de cette tension. Pour cela, on utilise simplement un galvanomètre G à diodes redresseuses, l'ensemble étant alimenté par l'intermédiaire d'un condensateur de faible valeur (on sait que le courant traversant un condensateur est proportionnel à la fréquence de ce courant). De plus, afin que l'indication ne soit pas influencée par des variations éventuelles d'amplitude, le signal interférentiel détecté est soigneusement écrêté à une amplitude constante.

Radio - sonde - radar :

Comme son nom l'indique, une telle radio-sonde emprunte son principe à celui du radar (technique qui sera vue au paragraphe 9).

Une impulsion de $0,2 \mu s$ générée par un émetteur UHF sur 440 MHz environ, est émise par une antenne d'émission (les dispositions pratiques d'antennes sont semblables à celles se rapportant aux radio-sondes à modulation de fréquence et représentées par la figure précédente). Cette impulsion provoque alors un « accroc » (ou « pip ») au tracé du spot sur l'écran d'un tube cathodique à balayage circulaire, face au zéro d'une échelle translucide également circulaire. Le balayage circulaire du tube cathodique est assuré par les deux paires de plaques de déviation, chaque paire étant alimentée par une tension alternative déphasée de 90° par rapport à la tension appliquée sur l'autre paire; la fréquence de cette tension de balayage est de 9 835,6 Hz.

Lorsque l'impulsion réfléchie par le sol, revient sur l'antenne de réception, il s'est écoulé un certain temps proportionnel à la hauteur de l'avion, temps pendant lequel le spot s'est déplacé suivant son balayage circulaire. Ce spot décrit alors un second « pip », et comme il tourne suivant un mouvement circulaire uniforme, l'angle entre

les deux « pips » est proportionnel au temps mis par l'impulsion pour se propager, et donc à la hauteur de l'avion par rapport au sol.

L'échelle translucide est graduée de 0 à 50 000 pieds (de 5 000 en 5 000 pieds). Le temps nécessaire au spot pour faire le tour de l'échelle est égal au temps mis par l'impulsion pour parcourir dans l'espace 100 000 pieds ($2 \times 50 000$ pieds, aller et retour), soit $101,6 \mu s$.

Un tel fonctionnement ne donne généralement pas une précision suffisante pour les faibles hauteurs. On peut alors enclencher un bouton qui donne au spot une vitesse dix fois plus grande (fréquence de l'oscillation de balayage = 98 356 Hz); pendant que le spot fait un tour sur l'écran (en $10,16 \mu s$), l'impulsion émise ne parcourt plus maintenant que 5 000 pieds (soit hauteur de 2 500 pieds). Ce qui donne évidemment une précision de lecture beaucoup plus grande. En fait, cette dernière est de l'ordre de 50 pieds.

Précisons d'ailleurs que cette précision dépend de la forme des impulsions transmises. Idéalement, ces impulsions devraient être à fronts verticaux; pratiquement, du fait de la constante de temps propre aux circuits de l'émetteur, ces impulsions présentent des flancs obliques. Plus ces flancs sont à pente raide, meilleure est la précision.

La précision dépend également de la bande passante des étages de fréquence intermédiaire et de vidéo-fréquence du récepteur. Notamment, les étages à vidéo-fréquence sont, par rapport à l'impulsion, ce que sont les étages BF par rapport au son dans une chaîne Hi-Fi.

Enfin, la précision croît avec la stabilité des oscillateurs de balayage, et bien évidemment, surtout avec celle de l'oscillateur à 98 356 Hz qui commande le fonctionnement pour les mesures des faibles hauteurs; c'est la raison pour laquelle cet oscillateur est stabilisé par quartz.

Dans tous les derniers modèles de radio-sondes radars, bien que le principe soit strictement inchangé, la lecture de la hauteur ne se fait plus sur une échelle graduée autour de l'écran d'un tube cathodique. L'indication de la hauteur est fournie en lecture directe sur des tubes afficheurs à segments lumineux.

Roger-A. RAFFIN