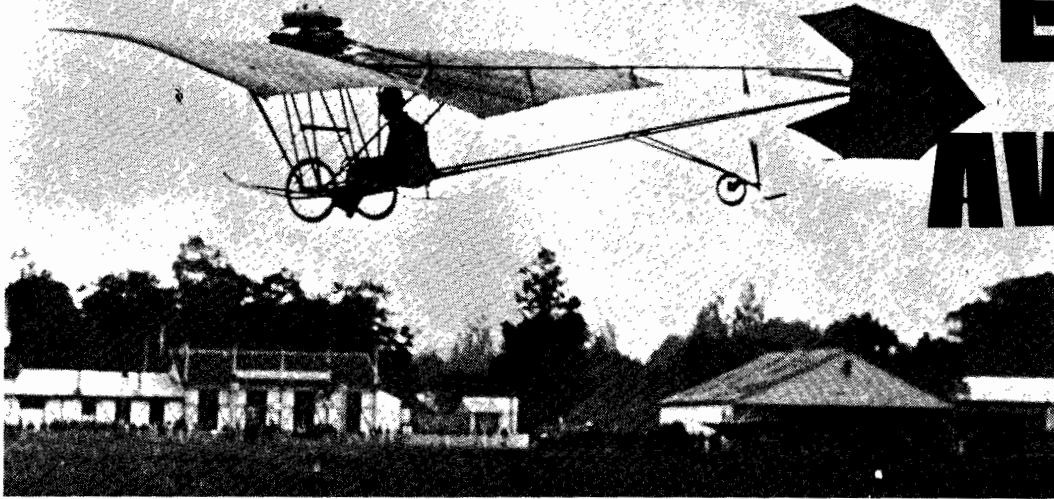


ELECTRONIQUE

ET

AVIATION



par Roger A. RAFFIN

(voir depuis le N° 1424)

EXPLOITATION DE L' A. D. F. V. O. R. À BORD

SANS risque de se tromper, on peut dire que l'A.D.F. (récepteur radio-compass automatique) et le récepteur V.O.R. sont les deux appareils de radionavigation les plus répandus et les plus utilisés. On les rencontre absolument sur tous les avions, même sur les petits avions de tourisme ; en fait, de nos jours, bien rares sont les avions de tourisme qui ne comportent pas ces deux instruments... et s'il en était encore quelques-uns, ce serait une lacune à combler très rapidement.

A la vérité, ADF et VOR ne font pas double emploi, loin de là. Disons plus exactement qu'ils se **complètent**, comme nous allons le voir et le comprendre par la lecture des paragraphes du présent chapitre.

§ 1. — Utilisations de l'A.D.F. (radio-compass)

Rappelons brièvement que l'ADF, ou radio-compass, est en quelque sorte un récepteur-goniomètre automatique monté à bord de l'avion. Il indique donc la direction de l'émetteur « relevé », c'est-à-dire de l'émetteur reçu.

En conséquence, outre les stations de radiodiffusion qui peuvent également servir pour déterminer sa position, des émetteurs destinés spécialement à être utilisés par les radio-compass de bord ont été installés à des endroits judicieusement choisis pour faciliter la navigation.

Ce sont :

— les émetteurs NDB (non directional beacons) qui jalonnent de loin en loin l'axe des voies aériennes, afin qu'un avion puisse suivre cette route en passant de l'un à l'autre ; ces émetteurs ont un indicatif à trois lettres (exemple : Montélimar = MTL) ;

— les radio-balises d'approche qui se trouvent sur les aérodromes, ou à proximité des aérodromes, afin d'en faciliter l'approche ; ces émetteurs ont un indicatif à deux lettres (exemple : Roanne = RR).

Tous ces émetteurs fonctionnent sur des fréquences comprises entre 200 et 500 kHz. Sur les fréquences supérieures à 500 kHz, ce sont surtout certains émetteurs de radiodiffusion qui

sont utilisés comme aides à la navigation.

Les émetteurs NDB et les radio-balises rayonnent une onde entretenue permanente, périodiquement découpée pour la transmission en signaux morse de l'indicatif. Dans certains cas, l'onde est modulée en amplitude à 1000 Hz environ. Dans d'autres cas, il s'agit d'une onde entretenue pure (c'est-à-dire non modulée) ; l'écoute se traduit alors par un simple souffle. Il convient donc de mettre en service le B.F.O. du radio-compass, oscillateur qui interfère le signal reçu, le rend parfaitement audible, et facilite l'identification lors de la transmission en morse de l'indicatif. L'identification certaine étant effectuée, on coupe le B.F.O. et l'on

repasser sur A.D.F., normalement.

A propos des signaux morse utilisés pour l'identification de ces stations, nous pensons qu'il n'est pas inutile de rappeler brièvement ce code :

| | |
|--------|--------|
| a --- | n --- |
| b ---- | o ---- |
| c ---- | p ---- |
| d ---- | q ---- |
| e - | r --- |
| f ---- | s --- |
| g ---- | t - |
| h ---- | u ---- |
| i --- | v ---- |
| j ---- | w ---- |
| k ---- | x ---- |
| l ---- | y ---- |
| m --- | z ---- |

Tout appareil de radio présente des limites d'utilisation. Le radio-compass n'échappe pas à cette règle et il importe de se souvenir de ces limites pour en faire un emploi correct.

— Il faut penser que le radio-compass ne peut donner une indication rigoureuse que lorsque l'avion est en vol en ligne droite et horizontale (position du cadre du récepteur), et non durant une évolution, en virage à forte inclinaison, par exemple.

— Il faut utiliser des émetteurs reçus puissamment à bord ; éviter les stations trop faibles ou trop éloignées.

— Si l'on utilise des stations de radiodiffusion :

a) il faut se méfier des émetteurs trop voisins en fréquences et qui s'interfèrent ;

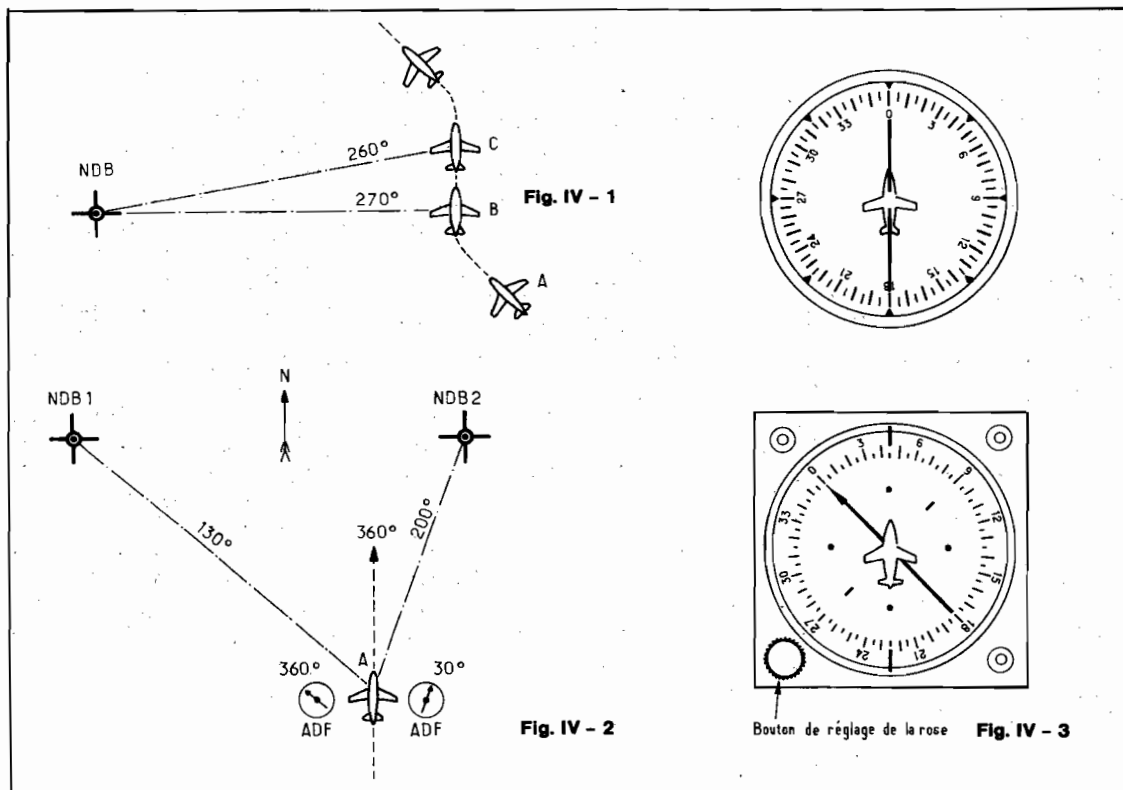
b) il ne faut pas utiliser des émetteurs qui transmettent le même programme sur la même fréquence (émetteurs dits synchronisés).

Dans les deux cas, l'aiguille de l'indicateur oscille, varie, ou est prise d'affolements ; ou encore, l'indication fournie est incorrecte, sans valeur.

— Il faut penser à l'effet de nuit : interférence des ondes directes et des ondes réfléchies sur les couches ionosphériques ; d'où, fluctuation des indications.

— Des effets semblables peuvent être dus au relief du sol lors du survol de hautes montagnes, également par réflexion des ondes.

— Il faut aussi se méfier de l'effet de côte (lors d'un vol au-dessus de la mer), effet qui tend à dévier la direction des ondes provenant de l'émetteur sur le continent ; d'où, relèvement erroné.



— Enfin, par temps d'orage, il faut se méfier des effets de l'électricité atmosphérique ; l'aiguille de l'indicateur peut osciller rapidement entre la direction de l'émetteur normalement reçu et celle du lieu de l'orage.

MESURE DE DISTANCE

Un pilote peut rapidement évaluer sa distance par rapport à un émetteur au sol à l'aide de l'ADF de bord ; se reporter à la figure IV-1.

Le pilote étant par exemple en position A, il vire à droite et vole au cap convenable pour que son ADF indique un gisement « **travers** » de 270°, gisement atteint à la position B ; à ce moment, il déclenche son chronomètre. Il continue de voler **au même cap magnétique et à la même vitesse** jusqu'à ce que l'indication de l'ADF ait varié de 10°, c'est-à-dire lorsque l'aiguille de l'ADF sera sur 260° (dans notre exemple). Cette position est atteinte en C, et le pilote arrête son chronomètre.

Le temps mis pour aller de B à C est par exemple de 2 mn 30 s (soit 150 secondes). Il suffit de diviser ce temps **en secondes** par la variation du gisement en degrés (10°) pour obtenir le nombre de **minutes** d'éloignement de la station NDB (soit 15 minutes, dans le cas présent).

Disons qu'il s'agit là d'un calcul empirique approché, ne tenant pas compte du vent, et seulement valable pour des variations d'angle de gisement inférieures à 15°. Mais, pour la commodité du calcul, on prend 10° et, d'autre part, l'approximation obtenue est très suffisante en pratique.

En aéronautique, on évalue une distance en s'estimant à **tant** de minutes de vol de tel ou tel point... Toutefois, si l'on veut traduire cela en **kilomètres** (sur une carte, par exemple), il ne suffit que d'un calcul élémentaire supplémentaire :

$$D = \frac{V \times t}{60}$$

D = distance en kilomètres ;
V = vitesse de l'avion en km/h ;
t = temps d'éloignement estimé, en minutes.

DÉTERMINER SA POSITION

A l'aide du radio-compass de bord, le pilote effectue les relèvements **successifs** de deux stations NDB connues et suffisamment distantes l'une de l'autre, ainsi que la position présumée de l'avion (voir figure IV-2). Si le pilote dispose de deux radio-compass, il peut effectuer les relèvements **simultanément** en affichant sur chaque ADF la fréquence du NDB correspondant.

Pour chaque NDB reçu, l'indicateur de l'ADF indique le QDM. Dans notre exemple, NDB-1 : QDM = 320° ; NDB-2 : QDM = 30°.

Ces deux mesures se transforment rapidement en QDR : en ajoutant, ou en retranchant selon le cas, 180°. C'est ainsi que nous avons : NDB-1 : QDR = 140° ; NDB-2 : QDR = 210°. Nous rappelons qu'il s'agit là de relèvements **magnétiques**, l'avion volant au cap magnétique 360° (nord) dans notre exemple. Pour obtenir les relèvements **vrais**, c'est-à-dire ceux que l'on peut reporter sur une carte géographique, il convient de soustraire la déclinaison magnétique qui est actuellement de l'ordre de 6 à 7° en France (et que l'on pourra cependant arrondir à 10°). **Finalemment**, sur sa carte, à l'aide d'un rapporteur, le pilote peut tracer les deux axes QTE à 130° depuis NDB-1, et à 200° depuis NDB-2. Ces deux axes se coupent sur la carte en A, point qui correspond à la position de l'avion. Naturellement, tout ceci doit être fait rapidement, car l'avion n'est pas immobile et se déplace durant les mesures ; en réalité, cette procédure est finalement assez rapide et il faut davantage de temps pour l'expliquer que pour la mettre en œuvre.

Comme nous l'avons dit, les mesures peuvent être accélérées

si l'on dispose de deux radio-compas à bord. Mais, comme nous le verrons ultérieurement, ces mesures peuvent être également effectuées à l'aide d'un récepteur VOR à bord et d'un émetteur VOR au sol. Ce qui veut dire que l'on pourra parfaitement faire **simultanément** un relèvement au radio-compas et un autre relèvement au V.O.R. Nous en reparlerons.

On conçoit aisément que le maximum de précision est obtenu lorsque les deux stations NDB choisies forment, par rapport à la position présumée de l'avion, un angle proche de 90° .

Pour la clarté de nos explications, sur la figure IV-2, nous avons supposé que l'avion volait en direction du nord (cap 360°). Et ici, nous devons préciser qu'il existe deux modèles d'indicateurs ADF ; nous les avons représentés sur la figure IV-3.

Dans le modèle simple (à gauche), la « rose » graduée est fixe et l'axe 0-18 (c'est-à-dire 360° - 180° , ou nord-sud) correspond à la ligne de foi de l'avion. On remarquera, en passant, que les indications sont inscrites en dizaines de degrés (ainsi 12, cela signifie 120°). Dans ce modèle simple d'indicateur, les indications fournies par l'aiguille sont des **gissements** par rapport à la ligne de foi de l'avion, donc par rapport à la direction suivie par l'avion. Pour obtenir des **relèvements**, il convient d'ajouter la valeur du cap suivi par l'avion.

Dans le modèle plus élaboré (à droite), la « rose » est tournante et peut être ajustée par la manœuvre d'un bouton. Lorsque l'axe 0-18 (360° - 180°) de la rose est calé selon la ligne de foi de l'avion, la lecture de l'aiguille donne des gissements (comme précédemment, évidemment). Mais si l'on affiche sur la rose le cap suivi par l'avion, l'aiguille indique alors les **QDM en lecture directe**.

Comme nous l'avons dit, dans l'exemple de la figure IV-2, nous avons supposé l'avion volant en direction du nord. Supposons que cet avion vole au cap magnétique 35° :

— ou bien il faut ajouter 35° aux lectures données par l'indicateur de l'ADF ;

— ou bien il faut positionner la rose sur 35° en face de l'index supérieur de l'indicateur (et l'on obtient des lectures directes).

Dans un cas comme dans l'autre, on obtient finalement les mêmes et correctes indications de relèvements magnétiques. C'est

évidemment simple, mais très important ; car, selon le cas, **il ne faut pas oublier** soit d'ajouter le cap-compas, soit d'afficher la concordance cap-rose.

Un autre procédé pour déterminer sa position consiste à faire un seul relèvement, puis à mesurer sa **distance** en kilomètres par rapport à la station NDB comme nous l'avons exposé précédemment.

REJOINDRE UN POINT DONNÉ

L'avion étant en A, il doit rejoindre le point P, le tout étant situé dans une zone où l'on peut recevoir le NDB-1 et le NDB-2 (voir figure IV-4). Comme précédemment, pour obtenir la meilleure précision, nous avons choisi deux stations NDB formant un angle proche de 90° par rapport au point P à rejoindre.

Préalablement, sur la carte, nous avons déterminé à partir du point P, le QDM pour NDB-1 (soit 340° dans notre exemple) et le QDM pour NDB-2 (soit 60°). Rappelons que lorsqu'on travaille sur une carte, il ne faut pas omettre de tenir compte de la déclinaison magnétique.

L'avion étant en A, au cap 270° , il pourra par exemple continuer sa route sur ce cap magnétique jusqu'à ce que le radio-compas

(réglé sur NDB-1, avec « rose » sur 270°) indique le QDM pour NDB-1, soit 340° . A ce moment, cela veut dire qu'il rencontre l'axe en B. Le pilote vire et prend alors le cap 340° qu'il conserve soigneusement en se dirigeant sur NDB-1. Le radio-compas est alors réglé sur la fréquence de NDB-2 (avec « rose » sur 340°), et naturellement, le pilote arrive au point P lorsque le radio-compas lui indique un QDM de 60° pour la station NDB-2.

Comme dans le cas précédent, les manœuvres sont grandement facilitées lorsqu'on dispose de deux radio-compas (ou un radio-compas et un récepteur VOR).

REJOINDRE UNE STATION NDB

Bien souvent, nous l'avons dit, les émetteurs NDB jalonnent de loin en loin les voies aériennes. Il suffit alors au pilote de voler de NDB en NDB pour qu'il soit certain de poursuivre sa route correctement.

Rejoindre une station NDB est en fait ce qu'il y a de plus facile. Soit un avion situé en A, et devant rejoindre l'émetteur NDB (fig. IV-5) ; le cap magnétique à suivre est 90° , dans notre exemple... mais cette indication n'est qu'accessoire. En effet, il suffit au pilote de maintenir l'aiguille de

l'indicateur du radio-compas parfaitement verticale, dans l'axe de l'avion ; en fait, le NDB est devant lui et il va dessus...

Si l'aiguille tourne vers la droite, le pilote agit sur les commandes de l'avion pour que ce dernier aille à droite ; l'aiguille revient ensuite à la verticale et le pilote doit mener son avion pour qu'elle reste ainsi.

Si l'aiguille tourne vers la gauche, le pilote agit sur les commandes de l'avion pour que ce dernier aille à gauche ; l'aiguille revient alors à la verticale et le pilote doit conduire son avion pour qu'elle se maintienne ainsi.

Le pilote doit donc toujours faire en sorte de conserver **verticale** l'aiguille de l'ADF. Si elle a tendance à tourner d'un côté ou de l'autre, avec son avion le pilote va « **chercher l'aiguille** » du côté où elle a tendance à tourner. Ainsi, il reste sur une route le conduisant inévitablement à la verticale de la station NDB.

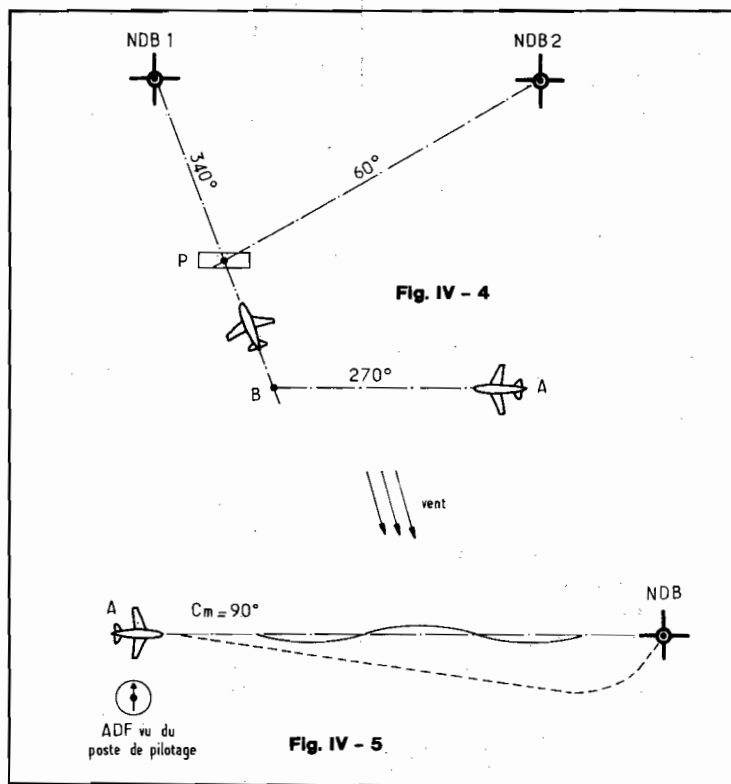
Ces légères variations de cap sont représentées par le trait fin, de part et d'autre de l'axe de la route (et d'une façon exagérée pour une meilleure compréhension) sur notre figure.

Disons aussi que le pilote doit cependant avoir un œil de temps à autre sur le compas magnétique (ou sur le gyro) : durant tout le trajet, bien que le pilote maintienne soigneusement l'aiguille de l'ADF à la verticale, le cap magnétique ne doit pratiquement pas varier. S'il n'en est pas ainsi, c'est que l'avion est soumis à une dérive importante, due à un fort vent de travers par exemple. Il est certain que l'avion finira par aboutir malgré tout à la verticale de la station NDB ; mais, au lieu d'avoir suivi une route pratiquement droite, il aura décrit une courbe (en pointillés sur notre figure), et donc, aura effectué un trajet plus long.

PASSAGE A LA VERTICALE

Le passage à la verticale d'une station NDB se manifeste par des oscillations désordonnées de l'aiguille de l'ADF, rapidement suivies par un basculement brutal de 180° de cette aiguille (soit par la droite, soit par la gauche, suivant l'écart de l'avion par rapport à la verticale idéale).

Si le pilote n'est pas arrivé à destination et doit poursuivre sa route, il doit alors afficher la fréquence du NDB suivant, sur le



cadran du récepteur ADF, et rejoindre cette nouvelle station comme nous l'avons exposé précédemment.

Nota :

Dans nos exemples, nous avons toujours parlé de stations NDB ; mais il va sans dire qu'il en est strictement de même avec les radio-balises d'approche des aérodromes et avec les émetteurs de radiodiffusion susceptibles d'être utilisés pour la radionavigation.

§ 2. — Utilisations du V.O.R.

Rappelons que le V.O.R. (Visual Omni Range) est un moyen de radionavigation VHF à courte distance, utilisant diverses stations d'émission au sol et un récepteur sur l'avion, récepteur se terminant sur un indicateur fixé au tableau de bord. Les fréquences utilisées se situent dans la gamme de 108 à 118 MHz.

Les émetteurs VOR sont classés en deux catégories selon leur emplacement et leur puissance (c'est-à-dire leur portée utile) ; ce sont :

- les T.V.O.R. (Terminal V.O.R.) de 108 à 111 MHz ; ces émetteurs sont généralement placés dans l'axe d'approche d'un aérodrome ; leur portée pratique est de l'ordre de 20 à 30 miles nautiques ;

- les V.O.R. (de route) de 111 à 117,8 MHz ; ces émetteurs sont installés principalement dans les couloirs aériens ou sur des voies aériennes prédéterminées ; leur portée pratique est de 100 miles nautiques environ à 10 000 pieds.

Rappelons également que le récepteur de bord mesure la différence de phase existant entre le rayonnement omnidirectionnel et le rayonnement tournant de l'émetteur V.O.R., différence de phase qui varie évidemment avec l'emplacement de l'avion par rapport à l'émetteur.

Une telle mesure détermine la position en azimut de l'avion par rapport à la station au sol sur une ligne appelée « radiale » ; la radiale zéro correspond au Nord magnétique.

Les lignes qui suivent sont extrêmement importantes, car elles contiennent toute la différence qui existe entre un radio-compas ADF et un V.O.R., différence qu'il importe de ne jamais oublier :

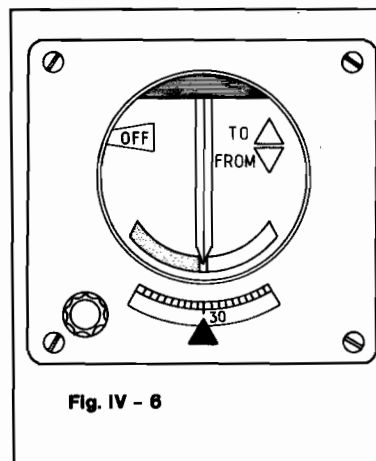
Sur une radiale donnée, l'indication fournie par le VOR reste la même, quel que soit le cap de l'avion. Le VOR est donc un instrument de position, et non un instrument de direction.

En d'autres termes, les indications fournies par le VOR ne dépendent que de la position de l'avion par rapport à telle ou telle radiale, et pas du tout de la direction de l'avion.

C'est ainsi que, pratiquement, si un avion décrit un cercle de 500 mètres de diamètre à une distance de 100 km d'un émetteur VOR, l'indication fournie par le récepteur VOR de bord ne variera absolument pas au cours de cette rotation ; en fait, à 500 mètres près, notre position n'a pas varié. Durant la même évolution, l'aiguille du radio-compas aurait fait, elle, un tour complet. Nous aurons l'occasion de revenir sur tout cela.

Après affichage de la fréquence de l'émetteur VOR à recevoir, on écoute un moment jusqu'à la transmission de l'indicateur en morse de la station (transmission s'effectuant régulièrement périodiquement comme avec les émetteurs NDB). Après identification, c'est-à-dire certitude de recevoir la station désirée, les signaux VOR peuvent être exploités.

L'indicateur visuel offre un aspect à peu près standardisé chez la plupart des constructeurs ; c'est celui que nous avons représenté sur la figure IV-6. Nous avons un cadran circulaire muni d'une aiguille verticale pouvant se déplacer à gauche ou à droite sur un secteur coloré (en bleu, à gauche ; en jaune, à droite). Audessous du cadran, une fenêtre laisse apparaître la valeur (en dizaines de degrés) de la radiale préaffichée à l'aide du bouton voisin (à gauche) ; exemple : 30 — 300°.



Le cadran comporte également un volet d'alarme (OFF) qui indique, lorsqu'il est visible, que les signaux reçus sont insuffisamment puissants pour qu'ils soient exploités valablement.

Enfin, deux fenêtres marquées TO et FROM indiquent, par occultation de l'une ou de l'autre, le secteur géographique dans lequel se trouve l'avion par rapport à l'émetteur VOR ; nous en reparlerons.

Nous savons que certains ensembles de bord réalisent une combinaison VOR-ILS ; l'indicateur visuel comporte alors deux aiguilles en croix, l'aiguille horizontale correspondant à l'ILS.

Les ondes VHF se propageant principalement en ligne droite, les portées maximales dépendent des positions respectives de l'antenne d'émission au sol et de l'antenne de réception sur l'avion (à peu près, portée optique) ; de ce fait, la portée dépend aussi du relief du sol (montagnes) si l'avion vole à basse altitude. Par ailleurs, les ondes VHF peuvent être réfléchies lorsqu'elles rencontrent des couches de conductibilités diélectriques différentes de l'atmosphère ou lorsqu'elles frappent des obstacles (massifs montagneux). Dans le cas de telles réflexions, l'effet combiné de l'onde directe et de l'onde réfléchie produit une succession de renforcements et d'annulations pour l'antenne mobile du récepteur (montée sur l'avion qui se déplace). L'aiguille verticale de l'indicateur VOR peut alors osciller fortement de part et d'autre de sa position initiale, tandis que le voyant OFF (flag alarm) apparaît de façon intermittente.

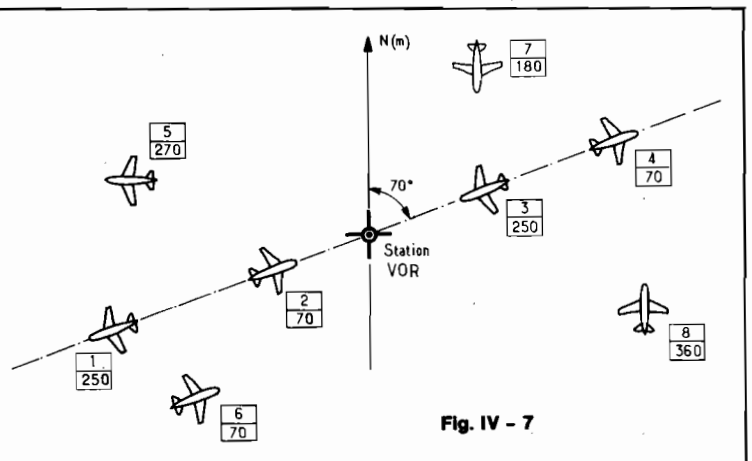
Pour combattre tous ces effets (éventuels), une seule solution : l'avion doit prendre de l'altitude.

Ainsi donc, après mise en service du récepteur VOR, calage sur la fréquence de l'émetteur à recevoir, identification en morse vérifiée, drapeau d'alarme OFF non visible, l'appareil est prêt pour l'utilisation.

On peut manœuvrer le bouton du sélecteur de radiale situé sur l'indicateur jusqu'à ce que l'aiguille « droite-gauche » se centre (position verticale) et que les voyants TO ou FROM prennent une décision... En fait, deux réglages du sélecteur de radiale, différents de 180°, provoquent le centrage de l'aiguille ; mais pour un réglage, c'est le voyant TO (vers la station) qui apparaît ; pour l'autre réglage, c'est le voyant FROM (venant de la station) qui est visible.

La navigation au VOR repose principalement sur l'indication visuelle fournie par l'aiguille verticale dès que le pilote a affiché la route, le cap, la radiale, qu'il désire utiliser. Les indications VOR ne dépendent pas du cap suivi par l'avion, mais uniquement de sa position par rapport à la station au sol, nous l'avons déjà dit. De ce fait, ces indications ne changent pas lorsque l'avion vire, par exemple pour prendre le cap magnétique (cap au compas) qui correspond au cap rejoignant la verticale de la station au sol. Les indications VOR sont donc bien des indications de position, à l'exclusion de toute information de cap ou de route suivie, renseignements qui restent toujours fournis par le compas ou le gyro conservateur de cap.

Ce n'est que dans le cas où le pilote a choisi de suivre une route passant par la verticale de la station VOR au sol qu'il pourra y avoir conformité — à la dérive près — entre le relèvement magnétique fourni par l'indicateur VOR et le cap-compas.



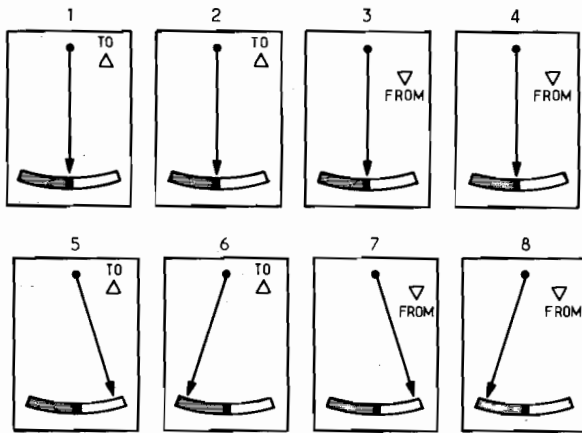


Fig. IV - 8

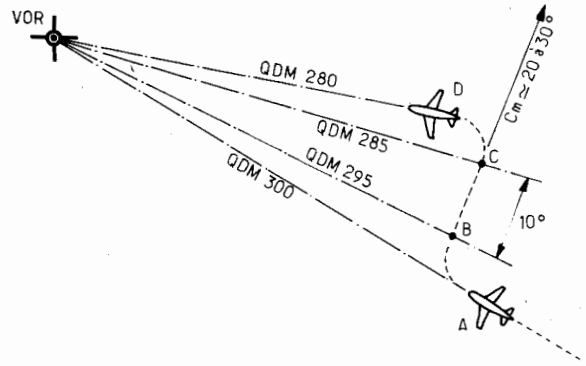


Fig. IV - 9

Rappelons enfin que les routes aériennes possibles fournies par les stations VOR sont calées de façon à constituer des routes « magnétiques ».

En résumé :

1) L'aiguille verticale situe la position de l'avion (à droite ou à gauche) de la radiale affichée, mais ne renseigne en rien sur le cap magnétique de l'avion.

2) Il faut maintenir le cap moyen désiré. Il ne faut pas effectuer d'excessifs changements de cap sous le prétexte de maintenir l'aiguille centrée ; il faut voler selon la tendance générale de l'aiguille, afin de ne pas sur-corriger. Notons que les réactions de l'aiguille ne sont pas instantanées ; il faut un certain temps pour sortir de la radiale affichée, ou pour rejoindre une radiale affichée, et ce d'autant plus que la station VOR est éloignée.

3) Ne pas se fier aux renseignements de l'indicateur si le voyant OFF apparaît (même par intermittence) ou s'il y a alternance d'indication dans les voyants TO et FROM.

4) Dans le cas où l'avion suit un parcours faisant environ 90° avec la radiale affichée, l'indication TO-FROM n'apparaît pas, ou est intermittente.

5) Les indications fournies (droite-gauche pour l'aiguille et TO ou FROM) sont toujours à considérer par rapport à la radiale affichée, et **uniquement** par rapport à cette radiale.

6) La signification des voyants TO (vers la station) et FROM (venant de la station) n'a de sens que si l'avion a la même direction que la radiale choisie, c'est-à-dire que si l'avion suit le cap magnétique correspondant à la radiale affichée. Exemple : nous avons affiché la radiale 90°, le voyant TO

apparaît, et nous volons au cap 90° ; cela veut dire qu'effectivement nous allons vers la station. Mais nous n'y allons que parce qu'il y a conformité entre la radiale affichée et le cap suivi. En effet, faisons rapidement un demi-tour et volons au cap 270° ; si nous laissons la radiale affichée sur 90°, le voyant TO est toujours présent (et pourtant nous tournons le dos à la station). Mais si nous affichons la radiale 270°, **conforme au cap-compas**, c'est bien le voyant FROM qui apparaît.

7) Pour connaître sa position par rapport à un émetteur VOR, tourner le bouton du sélecteur de radiale pour obtenir FROM et l'aiguille bien verticale. La radiale lue indique alors le QDR (relèvement magnétique par rapport à la station).

8) Pour aller vers une station VOR, régler le sélecteur de radiale pour obtenir TO, avec une aiguille bien verticale. Suivre au compas le cap indiqué par le sélecteur de radiale en maintenant, par le pilotage de l'avion, l'aiguille bien verticale.

9) Enfin, pour s'éloigner d'une station VOR suivant un cap donné, afficher la radiale correspondant à ce cap. Amener l'avion sur le faisceau pour avoir l'aiguille verticale ; le voyant FROM apparaît. Suivre ce cap correspondant à la radiale affichée en maintenant l'aiguille verticalement.

Afin d'être bien certain d'avoir compris les indications VOR, et de savoir les interpréter, les exploiter, on pourra examiner la figure IV-7. Sur ce croquis, disons que **tous les pilotes ont affiché la radiale 70°**. Pour chaque avion (1) à (8), le lecteur devra donner la position de l'aiguille (à gauche,

verticale, ou à droite) et dire quel est le voyant (TO ou FROM) qui apparaît. Au-dessous du numéro de l'avion, c'est le cap magnétique de la route suivie par cet avion qui est indiqué.

Pour vérifications ultérieures (soyez bons joueurs !), les réponses exactes sont indiquées sur la figure IV-8.

Résultats ? Si vous n'avez fait aucune erreur, vous êtes déjà un excellent radio-navigant ! Dans le cas contraire, c'est que vous vous êtes laissé influencer par l'orientation de l'avion, par la route qu'il suit, par son cap magnétique...

Pour ne pas faire d'erreur, il suffit de se souvenir que les indications du VOR — et notamment les indications TO et FROM — ne sont vraies que si le cap de l'avion correspond à la radiale affichée. Si nous **supposons** tous les avions de la figure IV-7 orientés au cap 70°, les indications deviennent alors **peut-être** beaucoup plus évidentes, mais en tout cas **inchangées**.

Pour nos lecteurs ayant fait quelques erreurs, répétons-le encore une fois : l'indicateur VOR est un indicateur de **position** de l'avion par rapport à l'émetteur au sol, et non un indicateur de direction. Il ne peut devenir un indicateur de direction que si l'avion suit la radiale affichée, c'est-à-dire si le cap-compas correspond à celui de la radiale affichée par le pilote.

Nous allons examiner maintenant quelques cas typiques de l'utilisation du VOR, en respectant l'ordre adopté pour l'ADF vu précédemment (ce qui permettra, le cas échéant, une comparaison facile des mises en œuvre). En outre, les exemples donnés parviendront à mieux faire com-

prendre les indications du VOR et les interprétations qu'il y a lieu d'en faire.

MESURE DE DISTANCE

Reportons-nous à la figure IV-9. Supposons un avion A volant au cap magnétique 300 en direction d'une station VOR. Le sélecteur de radiale affiche 300 également ; l'aiguille de l'indicateur est donc parfaitement centrée.

Le pilote affiche 295 au sélecteur de radiale (l'aiguille n'est donc plus centrée), et il amorce un virage de 80 à 90° environ par la droite ; il se retrouve donc sur un cap-compas moyen de 20 à 30°. En continuant à voler ainsi, au bout d'un court instant, l'aiguille de l'indicateur sera de nouveau centrée, bien verticale ; cela veut dire que l'avion vient de couper la radiale affichée au point B et le pilote déclenche son chronomètre.

En continuant de voler au même cap et à la même vitesse, le pilote affiche la radiale 285 (10° d'écart). Au bout d'un moment, l'aiguille sera de nouveau centrée ; l'avion aura alors atteint le point C et le pilote arrête son chronomètre.

Le temps mis pour aller de B à C est, par exemple, de 2 minutes, soit 120 secondes.

Il suffit de diviser ce temps en **secondes** par 10 (295 - 285 = nombre de degrés de variation) pour obtenir le temps d'éloignement en **minutes** de la station VOR (soit 12 minutes dans notre exemple).

Si l'on souhaite traduire cela en kilomètres **pour se situer sur la carte**, il suffit d'appliquer la formule :

$$D = \frac{V \times t}{60}$$

D = distance en kilomètres ;
 V = vitesse de l'avion en km/h ;
 t = temps d'éloignement estimé en minutes.

Dans notre exemple, si le pilote (arrivé en C) doit rejoindre la station VOR, il peut afficher la radiale 280, virer à gauche pour se reporter sur cette radiale (le but est atteint lorsque l'aiguille de l'indicateur est de nouveau centrée); dès cet instant, il vole alors au cap-compas 280 (position D) en maintenant son aiguille parfaitement verticale.

DÉTERMINER SA POSITION

Un émetteur VOR ayant été choisi, le pilote manœuvre le bouton du sélecteur de radiale; il trouve toujours deux réglages (différents de 180°) qui provoquent le centrage de l'aiguille: l'un avec le voyant TO, l'autre avec le voyant FROM; nous le savions. A titre d'exemple, reportons-nous à la figure IV-10 et supposons que l'aiguille soit bien centrée, bien verticale, pour 130° avec FROM et pour 310° avec TO. L'avion est évidemment quelque part sur cet axe 130° - 310° passant par la station VOR... Mais de quel côté? Sur l'axe OA ou sur l'axe OB?

Lorsque nous affichons 130° au sélecteur de radiale, le voyant FROM apparaissant, cela veut dire que si nous volions au cap 310° , nous irions vers la station.

Ces deux renseignements sont évidemment équivalents et signifient bien que nous sommes quelque part sur l'axe OA.

Ce simple renseignement peut parfois être suffisant. Dans d'autres cas, il peut être nécessaire de savoir exactement sur quel point de l'axe OA (dans notre exemple) nous nous trouvons. Deux solutions complémentaires sont alors possibles:

— On peut effectuer une mesure de distance par rapport à l'émetteur VOR comme cela a été indiqué précédemment.

— On peut effectuer un second relèvement par rapport à un autre émetteur VOR. C'est ce qui est représenté sur la figure IV-11. Par exemple, par rapport à la station VOR-1, notre indicateur donne 150° - FROM. Réglons ensuite le récepteur VOR sur l'émetteur VOR-2; par rapport à ce second émetteur, notre indicateur donne 250° - FROM. Rappelons que ce que nous obtenons ainsi, ce sont deux QDR (relève-

ments **magnétiques**). Si nous devons reporter cela sur une carte géographique établie au nord vrai (et non pas au nord magnétique), il ne faut pas omettre de soustraire la déclinaison magnétique (c'est-à-dire approximativement 10° par excès).

Il convient de remarquer que le travail de navigation peut être facilité si l'on dispose à bord de deux récepteurs VOR (au lieu d'utiliser le même récepteur tour à tour sur l'une et l'autre station VOR). Mais il convient aussi de rappeler que l'on peut faire l'un des deux relèvements à l'aide du radio-compass; nous l'avions dit précédemment.

REJOINDRE UN POINT DONNÉ

Reportons-nous à la figure IV-12. Soit à atteindre l'aérodrome P. Il faut d'abord choisir deux émetteurs VOR dont les portées sont certaines jusqu'en P, ces deux émetteurs devant faire par ailleurs un angle voisin de 90° par rapport à P afin d'obtenir la plus grande précision.

Sur la carte, on examine la position de P par rapport aux deux stations VOR; c'est ainsi que dans le cas de notre figure, P est

dans le 70 de VOR-1 (sous-entendu sur la radiale 70 issue de VOR-1) et dans le 320 de VOR-2.

Pour le pilote, le problème consiste donc à rejoindre la radiale la plus proche (l'axe BP dans notre exemple) et à suivre cette radiale jusqu'à son point d'intersection P avec l'autre radiale (axe AP).

Le pilote règle son récepteur VOR sur la fréquence de la station VOR-2 et, par le sélecteur de radiale, affiche la radiale 320. Lorsque cette radiale est atteinte (point M), l'aiguille de l'indicateur est centrée, verticale, et ce avec le voyant FROM. Le pilote vire et prend le cap-compas 320° ; il navigue alors à ce cap, en direction de P, en maintenant l'aiguille de l'indicateur bien centrée.

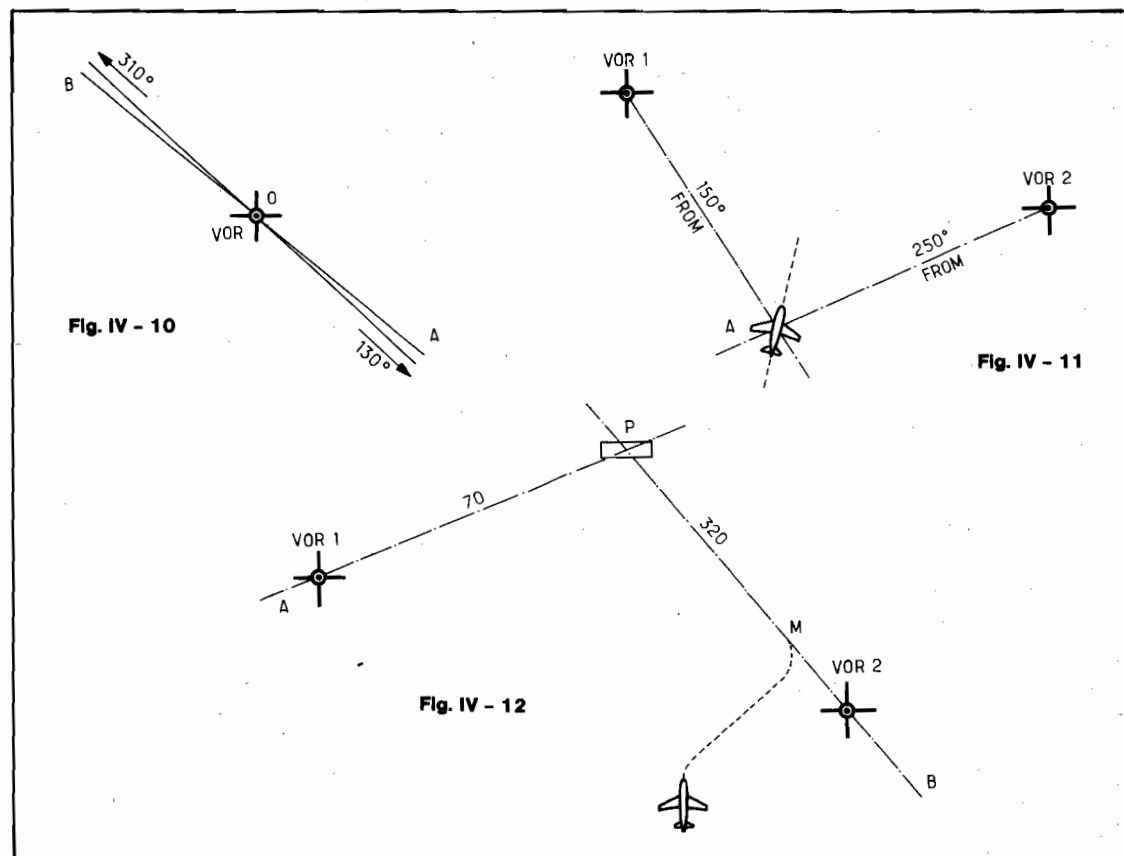
Notons qu'en voulant rejoindre l'axe BP, il pourrait se faire que ce soit le voyant TO qui apparaisse... Cela signifierait simplement que l'on a intercepté l'axe BP avant la station VOR-2, c'est-à-dire entre B et VOR-2. Cela n'a aucune importance; il suffit de prendre le cap magnétique 320 au compas, de voler à ce cap en maintenant l'aiguille bien centrée (avec voyant TO). Après le passage de la verticale de la station VOR-2, nous aurons le voyant FROM comme précédemment indiqué.

Après un certain temps de vol dans ces conditions, on continue à respecter le cap 320 en surveillant le compas ou le conservateur de cap-gyro. Puis, on règle le récepteur VOR sur la fréquence de l'émetteur VOR-1 et l'on affiche la radiale 70. L'aiguille est à gauche et le voyant FROM apparaît; il suffit de continuer à voler comme dit précédemment (au cap 320) jusqu'à ce que l'aiguille de l'indicateur soit centrée. A ce moment, on est à la verticale de P comme souhaité.

Lorsque nous avons réglé le récepteur sur la station VOR-1 en affichant la radiale 70, si l'aiguille avait dévié à droite, cela aurait signifié que nous avons déjà dépassé le point P... Demi-tour nécessaire, on le conçoit!

Comme précédemment, le travail de navigation peut être facilité si l'on dispose à bord de deux récepteurs VOR (au lieu d'utiliser tour à tour le même récepteur sur l'un et l'autre des émetteurs VOR). Mais il convient de rappeler que la station VOR-1 (par exemple) peut être remplacée par une station NDB avec utilisation du radio-compass à bord.

Dans ce cas, le relèvement magnétique de cette station NDB (substituée à VOR-1) vue du point P, donnerait un QDM de $70 + 180 = 250^\circ$.



L'intersection au point P serait alors atteinte :

— soit pour une indication de 250° par l'aiguille du radio-compass avec « rose » calée sur 320° comme le cap suivi par l'avion sur l'axe BP ;

— soit pour une indication de 290° par l'aiguille du radio-compass s'il s'agit d'un indicateur à rose fixe (zéro selon la ligne de foi de l'avion), puisque : $(360 - 320) + 250 = 290°$ (on a aussi : $290 + 320 = 610$; puis $610 - 360 = 250°$).

REJOINDRE UNE STATION V.O.R.

Rejoindre une station VOR, cela équivaut à suivre un axe quelconque passant par cette station VOR ; il suffit donc de déterminer la radiale la plus favorable aboutissant à cet émetteur.

Reportons-nous à la figure IV-13 et supposons que nous soyons en un endroit quelconque, au sud-est, de l'émetteur à rejoindre ; c'est ce qui est symbolisé par l'avion A. Nous affichons la fréquence de la station VOR et nous manœuvrons le bouton du sélecteur de radiale jusqu'à ce que le voyant TO apparaisse et que l'aiguille de l'indicateur soit bien centrée ; nous lisons alors la radiale indiquée : 310°. Nous avions aussi 130°, mais avec le voyant FROM ; ce qui ne nous intéresse pas ici.

Les indications TO et 310° signifient qu'en prenant le cap magnétique 310° en A, nous irons vers la station VOR ; de ce fait, nous orientons immédiatement l'avion au cap 310°, et notre aiguille restera exactement centrée (avec voyant TO) tant que nous serons parfaitement sur l'axe aboutissant à la station (avion 3, par exemple).

Si notre vol est imprécis ou s'il y a de la dérive due au vent, nous allons nous écarter de cette radiale. C'est le cas de l'avion (1), par exemple ; l'aiguille va alors dévier à gauche. Ce qui signifie : la radiale est à gauche ; nous appuierons donc à gauche pour récupérer la radiale, revenir sur celle-ci, ce qui sera réalisé lorsque l'aiguille de l'indicateur sera de nouveau bien centrée.

La situation est inversée dans le cas de l'avion (2) qui devra voler vers la droite pour récupérer la radiale.

Notre vol étant correct (avion 3), nous allons arriver à la **verticale** de la station VOR, ce qui

sera indiqué par des phénomènes caractéristiques exposés plus loin.

Il importe de noter que plus on se rapproche de l'émetteur VOR, plus il devient difficile de se maintenir sur l'axe de la radiale ; le cap devient « serré ». Les évolutions de correction pour s'y maintenir devront donc être de plus en plus légères (mais vigilantes) au fur et à mesure de l'approche.

Au contraire, plus on est éloigné d'une station VOR, plus il faut de temps pour récupérer l'axe de la radiale (pour recentrer l'aiguille) en cas de dérive, par exemple. Cependant, il ne faut pas effectuer de brutaux changements de cap sous le prétexte de revenir rapidement sur la radiale ; il faut seulement voler selon la tendance indiquée par l'aiguille (légèrement à droite ou à gauche) et l'on se retrouvera sur la radiale sans avoir effectué une navigation en zig-zag.

La navigation sur un axe donné est donc très facile ; elle a l'avantage d'être exécutée **sans dérive**, si l'on prend soin de bien maintenir l'aiguille correctement centrée. En d'autres termes, même avec un fort vent de travers, on peut se maintenir sur l'axe de la radiale choisie (si l'on surveille bien ses instruments) et la navigation s'effectue en ligne droite, sans décrire une large courbe (comme cela peut se produire avec un radio-compass ; revoir la courbe en pointillée de la figure IV-5).

Si la station VOR n'est pas le but de notre voyage, nous pouvons continuer au-delà. C'est le cas de l'avion (4). Pour poursuivre

toujours sur le même axe (radiale affichée 310°), nous volons en conservant l'aiguille bien centrée... Mais après le passage de la station, c'est le voyant FROM qui apparaît. Si nous dérivons à droite ou à gauche de la radiale choisie, cela nous est indiqué comme précédemment par l'aiguille qui dévie à gauche (avion 6 qui doit s'appuyer à gauche pour rejoindre l'axe) ou à droite (avion 5 qui doit s'appuyer à droite pour rejoindre l'axe).

Il faut noter qu'après le passage de la verticale de la station VOR, on peut choisir un autre cap (si la destination finale l'exige). Ainsi, après le passage de la station VOR, nous aurions pu afficher la radiale 270° (FROM), prendre le cap magnétique 270°, et naviguer en maintenant bien l'aiguille centrée. Nous pouvons ainsi voler sur cette radiale (ou toute autre radiale choisie) en nous faisant « pousser » par la station VOR aussi loin que possible, c'est-à-dire tant que le voyant d'alarme OFF n'apparaît pas (ou que le voyant FROM est parfaitement stable), tout cela dépendant de la portée de l'émetteur VOR et de l'altitude de l'avion.

C'est là d'ailleurs un autre avantage du VOR : on peut être guidé en allant vers une station ; mais on peut l'être aussi en allant au-delà de cette station... Cela n'est guère possible avec un radio-compass.

En effet, avec un radio-compass, après le passage de la station NDB, l'aiguille aura basculé de 180°... mais elle restera à peu près ainsi quel que soit le cap qui pour-

ra être suivi ensuite. Ou alors, il faudrait surveiller de très près l'aiguille et le **maintien du cap** (au gyro)... Mais, il y a la dérive... En bref, une navigation avec NDB « arrière » ne se fait pas longtemps sans que l'on constate d'importantes erreurs. Répétons-le, cet inconvénient n'existe pas avec un équipement VOR.

Le radio-compass ADF garde pour lui sa grande facilité d'utilisation, sa précision et l'absence d'erreur dans son interprétation. Dans tous les cas, il ne fait jamais double emploi avec le récepteur VOR, puisqu'ils se complètent l'un l'autre, nous l'avons vu. En outre, au sol, il n'y a pas des stations VOR partout, pas plus qu'il n'y a des stations NDB partout ; les **deux** appareils (ADF et VOR) à bord sont donc recommandés, sinon nécessaires.

PASSAGE A LA VERTICALE

Lorsqu'on arrive à la verticale d'une station VOR, les indications peuvent être affectées des phénomènes suivants :

a) L'aiguille peut se balancer brutalement et rapidement d'un côté à l'autre.

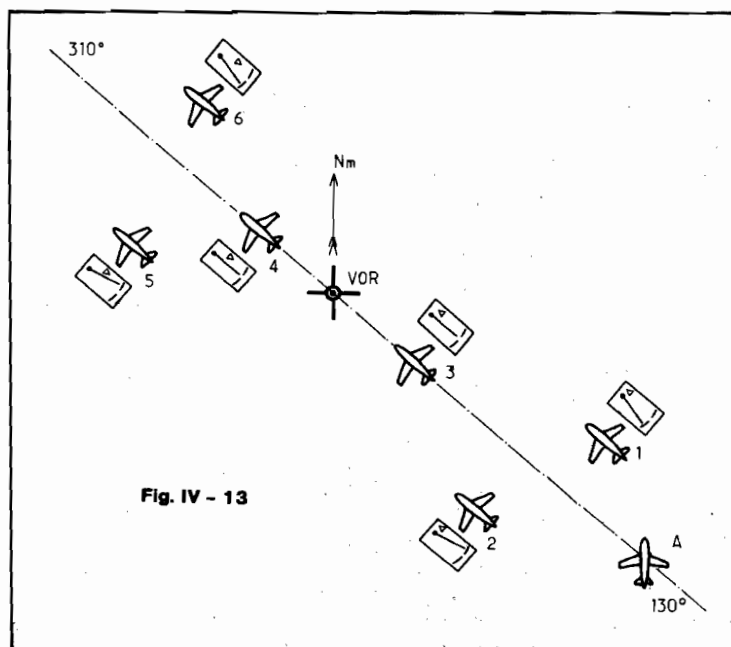
b) Le voyant d'alarme OFF peut apparaître et disparaître en succession rapide.

c) Les indications TO et FROM peuvent apparaître alternativement, puis finalement cela se stabilise sur FROM... indiquant que la station vient d'être dépassée.

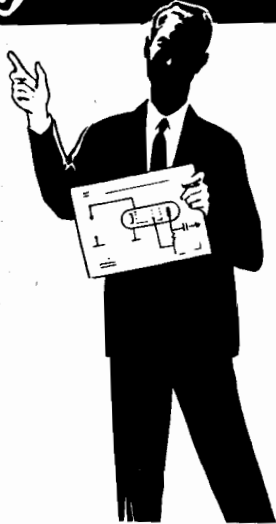
Si tout cela a bien été assimilé, nos lecteurs pourront maintenant se reporter à la figure IV-7 et faire de nouveau le test proposé...

Conclusion

Le développement de l'électronique et ses applications multiples dans l'aéronautique n'ont fait qu'accroître la sécurité des vols. Dans ce domaine, l'industrie met à la disposition des utilisateurs un nombre de plus en plus grand d'équipements nouveaux de radionavigation, de radiocommunication, de conduite du vol, etc., et il n'est guère d'invention nouvelle plus spécialement destinée aux grands avions de ligne ou aux avions militaires qui ne s'adapte peu à peu à l'aviation générale (affaires et tourisme).



1^{ère} Leçon gratuite



Sans quitter vos occupations actuelles et en y consacrant 1 ou 2 heures par jour, apprenez

LA RADIO ET LA TELEVISION

qui vous conduiront rapidement à une brillante situation.

• Vous apprendrez Montage, Construction et Dépannage de tous les postes.

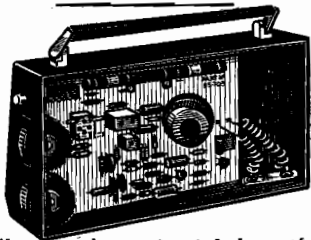
• Vous recevrez un matériel de qualité qui restera votre propriété.

Pour que vous vous rendiez compte, vous aussi, de l'efficacité de notre méthode, demandez aujourd'hui même, sans aucun engagement pour vous, la

Première leçon gratuite!

Si vous êtes satisfait, vous ferez plus tard des versements minimes à la cadence que vous choisirez vous-même. A tout moment, vous pourrez arrêter vos études sans aucune formalité.

**SI VOUS HABITEZ EN FRANCE
POSSIBILITÉ D'ÉTUDES GRATUITES
AU TITRE DE LA FORMATION
CONTINUE**



Notre enseignement est à la portée de tous et notre méthode VOUS MERVEILLERA.

**STAGES PRATIQUES
SANS SUPPLEMENT**

Documentation seule
gratuitement sur demande.

Documentation
+ 1^{ère} leçon gratuite

- contre 2 timbres à 0,50 (France)
- contre 2 coup-réponse (Etranger).

**INSTITUT SUPERIEUR
DE RADIO-ELECTRICITE**

Etablissement privé

Enseignement à distance tous niveaux
(Membre du S.N.E.C.)

27 bis, rue du Louvre, 75002 PARIS

(Métro : Sentier)

Téléphone : 231-18-67

Le bon technicien a toujours un bon équipement ...et des piles VARTA.

C'est tout de même plus agréable de « bricoler » avec un bon matériel. Alors, quand vous avez besoin de piles, faites confiance à VARTA.

VARTA, le plus grand fabricant européen d'énergie électrique autonome, a créé des piles alcalines d'une haute fiabilité, possédant une énergie potentielle élevée et constante.

Dimensions conformes aux normes internationales. Résistance parfaite aux chocs et vibrations.

Comportement exceptionnel en décharge, même aux températures extrêmes. Remarquable aptitude au stockage.

Et la gamme des piles VARTA est si étendue que vous trouverez toujours celles dont vous avez besoin.

VARTA

VARTA S.A. - B.P. 240 - 92307 LEVALLOIS-PERRET - Tél. (1) 270 36-00 +



Les radars.météo étaient bien rares, il y a quelques années ; aujourd'hui, presque tous les avions « jets », presque tous les avions pressurisés, en sont équipés. Même remarque en ce qui concerne les radars-doppler. Mieux même, on commence à voir certains « jets » d'affaires équipés de systèmes inertiels de navigation...

Parallèlement, des progrès technologiques remarquables ont permis une extraordinaire réduction des poids, des encombrements et des consommations d'énergie électrique.

Songez aux appareils émetteurs-récepteurs VHF de radio-communication de la guerre 1939-1945 (type SCR 522-542) ; ils comportaient seulement quatre fréquences et pesaient presque 50 kg... Maintenant, on dispose d'émetteurs-récepteurs VHF à 360 ou même 480 canaux, pesant douze fois moins et consommant huit fois moins d'énergie. Quant à l'encombrement, la comparaison laisse rêveur... Dans le même temps, la fiabilité augmentait et les prix diminuaient.

Dans un autre domaine, la vulgarisation des calculateurs électroniques donne une « nouvelle dimension » aux performances et aux possibilités des équipements de radionavigation.

Tous ces équipements qui facilitent la tâche de l'équipage et augmentent largement la sécurité imposent par contre aux laboratoires et aux stations-service d'entretien une incessante évolution des techniciens et des instruments de mesure et de contrôle nécessaires.

Les études et recherches en radiocommunication et en radionavigation ne sont certainement pas près de s'arrêter, et nous assisterons sûrement encore à de spectaculaires progrès dans les prochaines années à venir.

Roger A. RAFFIN

