

## 9 La radio navigation

L'emploi de la radio dans les vols-voyages a grandement simplifié la navigation. Le système radiophare omnidirectionnel VHF (VOR) a rendu la navigation entre deux stations VOR aussi aisée qu'une randonnée sur les autoroutes. L'équipement de mesure de distance (DME) libère le pilote de l'obligation de tracer, de mesurer et de calculer les distances et les vitesses-sol à partir des renseignements sur la destination. Les radiophares non directionnels (NDB) et les stations de radiodiffusion L/MF sont de véritables phares qui guident le pilote d'un point à un autre et qui, de plus, lui permettent de déterminer sa position, pourvu que l'avion dispose d'un radiogoniomètre automatique (ADF). Les systèmes de navigation de surface (comme le Loran C, l'INS et le GPS basé sur les satellites) guident l'aéronef vers sa destination sans effort.

Cependant, on reconnaîtra les aides radio à la navigation pour ce qu'elles sont, c'est-à-dire des aides, et non pas des substituts à la navigation à l'estime. Ne négligez jamais votre compas magnétique. Ayez toujours à portée de la main une carte aéronautique et vérifiez-y régulièrement votre position. Les radios ne sont pas infaillibles. Quand elles font défaut, votre seule assurance contre les risques d'égarement total reste la pratique consciencieuse des règles élémentaires du pilotage.

### 9.1 Le système radiophare omnidirectionnel VHF (VOR)

Le système de radionavigation dont l'usage est le plus répandu est le VOR (radiophare omnidirectionnel VHF), une aide à la navigation de courte portée basée au sol. À travers le Canada et les États-Unis, des centaines de stations VOR au sol ont été installées dans des endroits stratégiques. Ces stations émettent des signaux qui peuvent être utilisés aux fins de la navigation à la condition que l'équipement approprié se trouve à bord de l'avion. Le VOR constitue la base du système des voies aériennes VHF et sert également aux approches de non-précision aux instruments VOR.

Les stations VOR opèrent dans la plage des fréquences VHF, libres d'interférence statique, comprises entre 108,00 MHz et 117,95 MHz. Chaque station possède sa propre fréquence.

Une station VOR émet deux signaux. L'un des signaux est non directionnel. Il possède une phase constante, tous azimuts (360°) et est émis 30 fois à la seconde. On l'appelle **référence de phase**.

L'autre signal est un rayonnement directionnel qui effectue 30 rotations à la seconde. On l'appelle **variation de phase**.

Le signal de référence est réglé de façon à être émis au moment précis où le signal variable passe au nord magnétique. Dans toutes les autres directions, le signal variable survient plus tard que le signal de référence.

Le principe de fonctionnement du VOR repose sur le **déphasage** entre les deux signaux émis (voir image 1). En mesurant le temps qu'il faut au signal rotatif pour effectuer un balayage entre le nord et la direction où il est capté par le récepteur de l'avion, il est possible de déterminer le relèvement de l'avion par rapport à la station.

Afin d'illustrer ce principe le plus simplement possible, prenons l'exemple d'un phare rotatif d'aéroport. Le faisceau lumineux

tourne dans le sens horaire, disons 6 T/M. Ceci représente une rotation complète toutes les 10 sec, soit 36° d'azimut par seconde. Admettons que le feu vert d'identification de l'aéroport soit réglé de manière à s'éclairer chaque fois que le faisceau passe au nord magnétique.

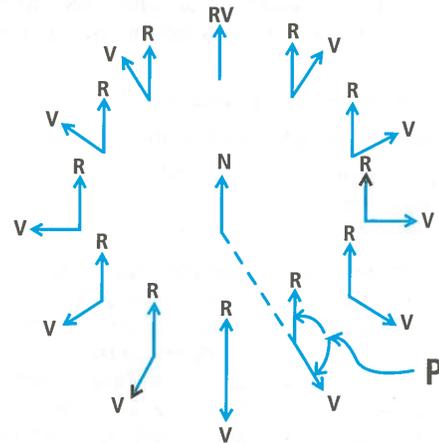


Image 1 – Différence de phase (P) et relèvement

Maintenant, si nous possédons un chronomètre, il nous est possible de déterminer notre position par rapport au phare. Quand nous apercevons l'éclat vert, nous mettons le chronomètre en marche. Puis, lorsque le faisceau lumineux passe devant nous, nous l'arrêtons. Le nombre de secondes indiqué sur le chronomètre, multiplié par 36, nous donne notre relèvement magnétique par rapport au phare.

**Exemple :** le temps écoulé entre l'éclat vert et le passage du faisceau lumineux est de 4 sec.  $4 \times 36 = 144$

Par conséquent, notre relèvement à partir du phare est de 144° magnétique (voir image2).

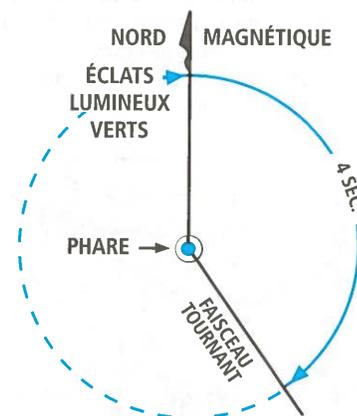


Image 2 – Principe du VOR

C'est exactement ce que fait l'équipement omnidirectionnel pour le pilote, sauf que le chronométrage entre les signaux de référence et les signaux variables s'effectue électroniquement et que le relèvement obtenu est un parmi un nombre infini de «faisceaux» qui rayonnent à partir de la station omnidirectionnelle, un peu comme les rayons d'une roue de bicyclette. On appelle ces rayons des **lignes radiales**.

Bien qu'en théorie il existe un nombre infini de radiales, en pratique, seulement 360 sont utilisables. Les radiales sont désignées par des numéros. Chaque radiale reçoit le numéro correspondant à son orientation magnétique par rapport à la station.

**Exemple :** la radiale «45» est la radiale qu'il faudrait suivre si vous vouliez vous éloigner de la station en direction du nord-est. Cette radiale se trouve à 45°, dans le sens horaire de la radiale 0°, toujours alignée sur le nord magnétique.

Naturellement, il existe aussi des relèvements omnidirectionnels vers la station. Si vous suivez la radiale «45°» en direction de la station, c'est que vous vous trouvez au sud-ouest de la station :

- la radiale «45 vers» (TO) la station et
- la radiale «45 de» (FROM) à la station.

À compter de maintenant, nous utiliserons les mots TO et FROM, conformément aux indications fournies par l'instrument monté sur le tableau de bord de l'avion.

Les relèvements omnidirectionnels portent le nom de radiales, qu'ils soient en direction de la station ou qu'ils s'en éloignent. Toutefois, certaines autorités telle que l'OTAN ont officialisé le terme **cap (HDG)**. D'autres préfèrent considérer les radiales comme des relèvements magnétiques en éloignement de la station et les routes ou gisements comme étant des relèvements magnétiques en rapprochement de la station. «45 FROM» serait, par conséquent, une radiale en éloignement de la station, et «225 TO» une route en rapprochement (c.-à-d. en direction) de la station.

Sur les cartes aéronautiques, les stations VOR sont illustrées au moyen d'une rose des caps superposée à une station émettrice VOR, elle-même représentée par un symbole hexagonal (à six côtés). L'image 3 illustre le relèvement de la station VOR de Wainwright. La rose est graduée à intervalles de 5°. La radiale 0° est alignée sur le nord magnétique.

Le nom du VOR apparaît dans le rectangle qui renferme, entre autres, les trois lettres d'identification de la station et l'équivalent en morse. La fréquence de la station est donnée en MHz. La fréquence du VOR de Wainwright est 114,5 MHz.

Plusieurs radiales sont tracées sur la carte (274°, 254°, 034° et 087°). Ces radiales servent à délimiter des trajectoires de vol entre deux stations VOR. Ces trajectoires portent le nom de «voies aériennes Victor». À l'image 3, la radiale 274° délimite la voie aérienne Victor 350 (V350).



Image 3 – Représentation des VOR sur les cartes

## 9.1.1 Les voies aériennes Victor

Plusieurs réseaux de voies aériennes VHF, reposant sur l'emploi d'installations omnidirectionnelles, sillonnent entièrement les États-Unis et presque tout le Canada. Ces voies aériennes sont couramment appelées des Victors (voies aériennes Victor ou voies aériennes VOR). On les suit par référence à des stations omnidirectionnelles situées approximativement à 100 milles les unes des autres, le long des voies aériennes. Les voies aériennes Victor sont numérotées à la manière des autoroutes.

D'une largeur approximative de 8 NM, elles sont illustrées sur les cartes aéronautiques à l'aide de lignes ombragées dont les bordures extérieures indiquent les limites de la voie aérienne.

Lorsque vous empruntez une voie aérienne Victor, vous suivez en réalité la radiale qui se trouve au centre de la voie aérienne.

Par faible visibilité, il est extrêmement important de voler le plus près possible de la ligne centrale de la voie aérienne, particulièrement aux environs des régions terminales. Une voie aérienne adjacente peut fort bien se trouver à seulement 15° de celle que vous suivez, et le trafic qui utilise cette voie aérienne peut aussi se trouver à la même altitude que vous. L'image 4 montre à quoi ressemblent les voies aériennes Victor sur les cartes aéronautiques.

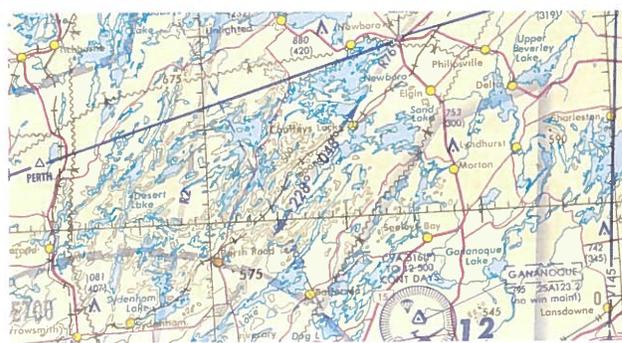


Image 4 – Voie aérienne Victor (espace aérien contrôlé)

Remarquez que les relèvements magnétiques de la voie aérienne illustrés à l'image 4 sont exactement réciproques. Exemple : 292° et 112°. Sur certaines voies aériennes, ces relèvements opposés ne sont pas réciproques en raison de la déclinaison magnétique.

Exemple : Une certaine voie aérienne Victor peut se lire à 077° en direction de l'est mais elle peut être de 261° en direction de l'ouest. Lorsque vous voyagez par voies aériennes Victor, vous volez selon le radial omnidirectionnel qui se trouve au centre de la voie aérienne.

## 9.1.2 Les avantages de la navigation VOR

Le système omnidirectionnel fournit un bon nombre de routes en rapprochement ou en éloignement des stations qui en font partie. Ces routes sont semblables à des autoroutes invisibles sillonnant le continent en tous sens et que les pilotes peuvent emprunter pour quitter ou rallier un endroit quelconque.

Les VOR peuvent également servir à établir des points de position. Le pilote établit sa position en affichant successivement deux stations VOR le plus vite possible et en notant leurs relèvements. Ces relèvements lui fournissent deux lignes de position. Une fois tracées sur la carte, les deux lignes se croisent à l'endroit même où se trouve le pilote; c'est ce qu'on appelle un point de position.

Parce que le VOR réagit à la position de l'avion et qu'il ne réagit pas au cap, le pilote est capable de suivre une trajectoire

rectiligne sans se soucier des corrections du compas, de la déclinaison et de la déviation. La dérive du vent est aussi compensée automatiquement. Tout ceci contribue à maintenir l'avion très précisément sur sa route.

Les instruments omnidirectionnels VOR installés dans l'avion sont conçus pour donner le relèvement ou la direction omnidirectionnel de l'avion par rapport à la station VOR, **quelle que soit la direction où pointe le nez de l'avion** (voir image 5). Autrement dit, le relèvement omni est un **relèvement magnétique** entre l'avion même et la station VOR. Lorsque vous vous dirigez vers une station VOR ou que vous vous en éloignez, vous le faites en suivant une ligne correspondant à un relèvement constant. Pour ce faire, vous devez évidemment orienter le nez de l'avion du côté d'où vient le vent et ce, pour éviter d'être déporté à côté de la ligne que vous désirez suivre. Ce faisant, vous corrigez automatiquement la dérive, sans aucun effort ou calcul de votre part.

La précision de l'alignement de route omnidirectionnel du VOR est en deçà de plus ou moins 3°. Il est donc possible de naviguer avec une très grande précision.

Les fréquences VOR sont libres d'interférences et de parasites. Elles donnent par conséquent des indications fiables. Cependant, la réception dépend de la distance relative de la station et de l'altitude, voir 9.1.3 – Les désavantages de la navigation VOR.

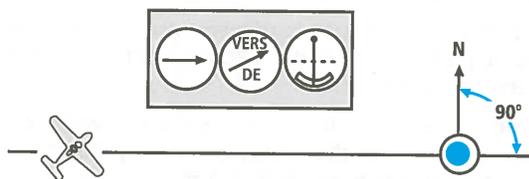


Image 5 – Relèvement VOR – le relèvement à partir de l'avion est de 90°

### 9.1.3 Les désavantages de la navigation VOR

Les signaux VOR émis sur les fréquences VHF sont limités à la portée optique.

La courbure de la terre a par conséquent une influence marquée sur la distance à laquelle un signal VOR peut être capté. À une distance d'environ 50 NM de la station, le signal sera reçu à une altitude de 1500 pi AGL. Plus l'avion est éloigné de la station, plus il doit voler haut pour recevoir le signal, voir 9.1.5 – Les instruments VOR, image 6.

À très haute altitude, il est possible que les indications ne soient pas fiables, car deux stations émettrices différentes peuvent utiliser la même fréquence. On assigne habituellement la même fréquence seulement à des stations éloignées de plusieurs centaines de milles. Il arrive néanmoins que les zones de couverture se chevauchent, causant ainsi des lectures erronées.

Les signaux VOR sont aussi affectés par les particularités topographiques des environs immédiats de la station, par exemple la présence de clôtures, de lignes à haute tension, de bâtisses, etc. Ceci occasionne un effet d'écran, qu'on pourrait appeler **l'erreur locale** dans le cas présent. Il en résulte soit des lectures fausses, soit la disparition totale du signal.

À proximité des montagnes, les signaux sont parfois réfléchis ou complètement masqués par les montagnes. Il s'agit d'un autre effet d'écran qu'on pourrait appeler, dans ce cas-ci, **l'effet orographique**.

Certaines erreurs sont occasionnées par le bris d'une pièce quelconque du récepteur (erreur du récepteur), ou par des défauts au niveau de la structure ou de l'équipement composant une station VOR. On parlera alors **d'erreur de la station au sol**.

Les caprices du système VOR ont peu d'ampleur.

Les erreurs causées par le site et le terrain sont de courte durée. En outre, elles ont tendance à se neutraliser les unes les autres avant même que l'avion n'ait le temps de réagir. Les erreurs causées par le récepteur peuvent être éliminées par le choix judicieux et l'entretien convenable d'appareils durables et fiables. Les erreurs causées par les stations au sol, considérées plus graves, excèdent rarement 2° et ne dépassent en aucun cas plus ou moins 3° de déviation.

Les caprices du système se manifestent sous forme d'irrégularités bénignes, du genre route imprécise, alerte brève et occasionnelle mettant en cause le drapeau, déflexions de route et portée limitée. Restez à l'affût de telles anomalies, particulièrement sur une route qui ne vous est pas familière.

### 9.1.4 La station VOR

Chaque station VOR émet sur une fréquence VHF assignée. En plus du signal omnidirectionnel, la station émet en morse l'identification composée de trois lettres.

Exemple : Toronto YYZ = —• — — / — • — — / — — ••

Certaines stations sont identifiées par un enregistrement en phonie, suivi de trois lettres en morse.

Exemple : Identification en phonie = «Indianapolis VOR»

Identification en morse = •• / — • / — •• (code IND)

Si la station n'est pas veillée et qu'elle n'assure aucun service de communication air-sol, le mot «Unattended» (sans veille) est inclus.

Exemple : «Cookeville Unattended VOR».

Écoutez toujours l'indicatif de la station pour vous assurer d'être sur la bonne fréquence. En période d'entretien, l'indicatif codé n'est pas transmis. Si vous n'entendez pas le signal sonore, faites comme si la station n'était pas fiable, même si le signal VOR est transmis.

Toutes les stations VOR canadiennes fonctionnent sur une base continue. La majorité des stations sont dotées d'un service de communication air-sol qui permet au pilote d'entrer en contact avec les FIC. Le pilote émet sur 122,2 MHz ou 126,7 MHz et reçoit sur la fréquence du VOR. Certaines stations VOR émettent des messages enregistrés de type TWB (radiodiffusion de bulletins météorologiques enregistrés) ou de type ATIS (service automatique d'information de région terminale).

On peut également contacter les stations VOR pour obtenir l'assistance radiogoniométrique (DF – Direction Finding). L'équipement VHF/DF, présent dans presque toutes les stations d'information de vol, permet au spécialiste FSS de renseigner le pilote sur sa position relativement à la station. Le service d'assistance radiogoniométrique VHF DF est expliqué plus en détail à la section 8 – La radio.

### 9.1.5 Les instruments OMNI

L'emploi des installations omnidirectionnelles VOR dépend de la présence d'un récepteur VHF, d'un indicateur VOR et d'une antenne à bord de l'avion.

## Les antennes

Les signaux VOR sont captés par une antenne, généralement montée sur le dessus du fuselage ou près du cône de la queue à l'abri des interférences dues aux autres installations électriques. Trois types d'antennes sont utilisées pour les équipements VOR :

- l'antenne en V,
- l'antenne «fouet» fabriquée en acier flexible et
- l'antenne de type «barre à serviettes».

En général, les deux dernières donnent meilleure satisfaction. Elles sont d'ailleurs requises quand le VOR est utilisé conjointement avec un RNAV (appareil de navigation de surface).

## Le récepteur

Le récepteur omnidirectionnel VOR fait généralement partie d'une unité comprenant à la fois un émetteur-récepteur fonctionnant sur les canaux de communications et un récepteur fonctionnant sur les canaux de navigation.

L'unité VHF NAV/COM illustrée à l'image 6 est typique des appareils radio modernes. La partie COM de l'unité a déjà été expliquée à la section 8 – La radio.

La partie NAV est capable de capter 200 canaux dans la gamme des fréquences comprises entre 108,00 MHz et 117,95 MHz, avec un espacement de 50 KHz.

Le récepteur NAV de l'image 6 affiche la fréquence 109,30 MHz. Cette unité permet la présélection d'une deuxième fréquence VOR (116,40 MHz) en position d'attente.



Image 6 – Équipement radio VHF NAV/COM

Le récepteur NAV joue aussi le rôle de récepteur pour l'indicateur d'alignement de descente (Glide Slope) et le faisceau d'alignement de piste du système d'atterrissage aux instruments ILS. L'alignement de piste ILS fonctionne sur les dixièmes de décimale impairs (i.e. 108,10 – 108,30 – 108,50, etc.) dans la gamme des fréquences VHF comprises entre 108,10 MHz et 111,90 MHz. Lorsqu'une fréquence ILS est affichée sur l'appareil, la fréquence correspondante de l'indicateur d'alignement de descente (qui se trouve dans la bande UHF) se trouve réglée automatiquement.

## L'indicateur VOR

L'indicateur VOR cumule trois fonctions en une seule unité : sélecteur d'azimut (ou de route), indicateur d'écart de route et indicateur de lever de doute «TO-FROM».

L'indicateur VOR illustré à l'image 7 incorpore ces trois fonctions. Il comprend aussi l'indicateur (horizontal) d'alignement de descente nécessaire aux indications visuelles de la position de l'avion lorsque le récepteur NAV est utilisé sur une fréquence ILS.

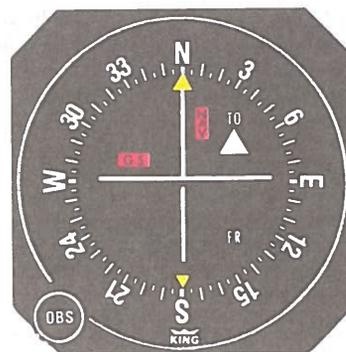


Image 7 – Indicateur VOR/ILS

Le **sélecteur d'azimut (OBS)** : est un cadran d'azimut gradué de 360°. Il est numéroté tous les 30°, de 0 jusqu'à 33. Les chiffres représentent les azimuts (routes ou radiales). À l'image 7, on remarque qu'un relèvement de 000° (N) a été affiché. Le relèvement réciproque de 180° (S) est indiqué par la queue de la flèche.

L'**indicateur TO-FROM** est situé à la droite de l'instrument, de part et d'autre de la barre horizontale. Étant donné que le relèvement magnétique d'une radiale VOR risque d'être ambigu, l'indicateur TO-FROM sert à déterminer si l'avion s'éloigne ou s'il se rapproche de la station.

Si l'indicateur affiche «TO», le relèvement va de l'avion vers la station. Si par contre il affiche «FROM», il s'agit du relèvement de la station vers l'avion.

L'**indicateur d'écart de route (CDI)** est une aiguille montée verticalement qui se déplace à la manière d'un pendule, c.-à-d. à gauche ou à droite de la rangée de points alignés verticalement. Elle sert à indiquer si l'avion se trouve à gauche ou à droite de la route ou de la radiale affichée par le pilote sur le sélecteur d'azimut. L'indicateur d'écart de route est souvent appelé tout simplement **indicateur LOC (TBI)**.

Quand le récepteur NAV est réglé sur une fréquence d'alignement de piste ILS, l'aiguille verticale indique la déviation ou l'écart par rapport à la trajectoire d'alignement de piste choisie. L'aiguille horizontale indique l'écart au-dessus ou en dessous de l'alignement de descente. Voir 9.3 – Le système d'atterrissage aux instruments ILS.

### 9.1.6 La vérification VOR (VOT)

La vérification des équipements VHF doit se faire périodiquement pour en assurer l'exactitude. Des installations de faible puissance destinées à la vérification des VOR (émetteurs VHF Omnitest - VOT) sont disponibles à plusieurs aéroports canadiens et américains pour permettre la vérification des récepteurs VOR de bord, alors que l'aéronef se trouve au sol. Les VOT émettent sur tous les azimuts un signal de gisement nord magnétique (000°) que l'avion reçoit comme s'il se trouvait réellement sur la radiale 000, bien qu'il n'en soit rien. Ainsi, le CDI étant centré, le sélecteur d'azimut doit indiquer 000° et l'indicateur de lever de doute «FROM», ou 180° avec l'indicateur sur «TO». La précision du signal émis respecte une tolérance de 1°. Toute erreur apparente supérieure à 4° indique que le récepteur VOR de bord se trouve en dehors des limites acceptables. On verra à remplacer ou à réparer l'équipement. Une erreur apparente inférieure à 4° est acceptable. N'essayez pas toutefois d'appliquer une valeur correctrice quelconque lorsque vous choisissez une radiale. Ce genre d'improvisation ne fera que compliquer inutilement les procédures de navigation au VOR.

De plus, il n'est pas sûr que l'erreur soit constante sur tous les azimuts (360°).

Des **points de vérification VOR d'aérodrome** ont été établis sur l'aire de manoeuvre de certains aéroports où le signal VOR est suffisamment fort pour faciliter la vérification des équipements VOR. Un panneau d'affichage placé au point de vérification indique sur quelle radiale et à quelle distance de l'émetteur l'avion se trouve. La radiale indiquée sur le VOR de l'aéronef devrait se trouver dans les 4° de la radiale affichée. La mesure des distances vérifie l'équipement DME, voir 9.6 – L'équipement de mesure de distance (DME).

Une liste des aéroports canadiens dotés d'installations VOT se trouve dans le **Supplément de vol - Canada**.

Aux endroits où il n'existe aucune installation VOT, vous pouvez procéder à la vérification de votre récepteur au moyen de la méthode suivante. Affichez la fréquence de la station VOR la plus proche et centrez l'indicateur de route. Tournez le sélecteur d'azimut sur 180° et centrez la barre de nouveau. La réciproque de l'azimut original doit se trouver dans les 4° pour être jugée à l'intérieur des limites permissibles.

Une autre méthode de vérification en vol du récepteur VOR consiste à afficher une radiale VOR se trouvant précisément au centre d'une voie aérienne VOR. Choisissez au sol un point de repère proéminent directement sur la radiale, à une distance d'environ 20 mi de la station VOR. Quand vous vous trouvez directement à la verticale de ce point de repère, à une altitude raisonnablement basse, notez le relèvement VOR indiqué sur le récepteur. Un écart maximal de 6° entre la radiale publiée et le relèvement affiché est permmissible.

Si l'avion est muni de deux systèmes VOR, on peut comparer les indications d'un récepteur à celles de l'autre lorsque les deux affichent la même fréquence VOR.

### 9.1.7 La navigation VOR

Pour utiliser le VOR, vous devez d'abord afficher la bonne station sur votre récepteur VOR. La fréquence d'une station est imprimée dans le rectangle qui lui est associé sur la carte aéronautique. Écoutez toujours attentivement l'indicatif de la station pour vous assurer qu'il s'agisse bien de la bonne station.

Pour afficher une radiale, faites tourner le sélecteur d'azimut (OBS). Durant cette opération, vous verrez le CDI (Course Deviation Indicator) se déplacer en direction de la rangée de points alignés verticalement sur la face de l'instrument. Lorsque l'indicateur est centré, l'affichage sur le sélecteur d'azimut correspond à la radiale émise par la station et sur laquelle se trouve l'avion. Quel que soit son cap, l'avion se trouve quelque part sur cette radiale.

Quand l'aiguille du CDI est centrée, cela signifie que l'avion se trouve sur la radiale affichée, mais on ignore de quel côté de la station. Le rôle de l'indicateur «TO-FROM» consiste à éliminer cette ambiguïté.

#### L'indicateur «To/From»

L'image 8 démontre les secteurs dans lesquels on reçoit un signal soit «TO», soit «FROM», lorsque le sélecteur d'azimut affiche une radiale VOR quelconque. Pour l'illustration de gauche, on a choisi et affiché la radiale 160° d'une station VOR quelconque sur le sélecteur d'azimut. Pour celle de droite, la radiale 45° a été choisie.

Lorsque l'avion se trouve n'importe où dans le secteur clair, l'indicateur affiche «FROM» (de la station), quelle que soit la direction de vol. Par contre, si l'avion se trouve n'importe où dans

le secteur ombragé, l'indicateur affiche «TO» (vers la station), même si en réalité l'avion se dirige dans la direction opposée.

Si l'avion se trouve exactement à 90° de la radiale affichée, les signaux contraires qui déclenchent le «TO» et le «FROM» entrent en conflit et s'annulent l'un l'autre; il en résulte une indication «OFF».

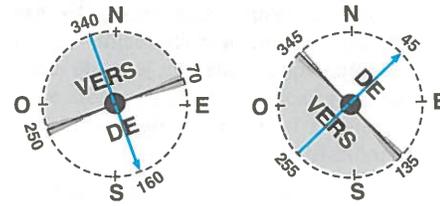


Image 8 – Relèvement VOR To/From

À l'image 9, le sélecteur d'azimut de chaque avion a été réglé sur 0°. Les avions «A», «B» et «H» afficheraient «TO», les avions «D», «E» et «F», «FROM», et les avions «C» et «G», «OFF».

Quand l'avion passe directement à la verticale de la station VOR, l'indicateur «TO-FROM» passe de «TO» à «FROM» ou vice versa pour signaler le passage de la station.

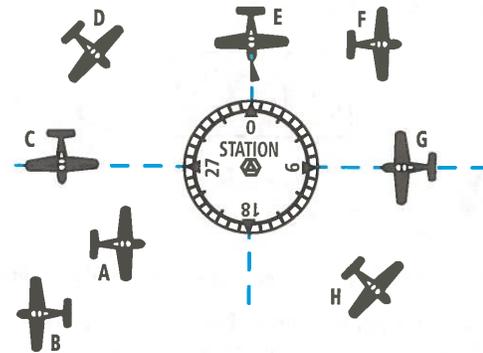


Image 9 – Exemples de relèvements «To/From»

#### L'indicateur d'écart de route

L'indicateur d'écart de route reste centré aussi longtemps que l'avion se trouve précisément sur la radiale affichée sur le sélecteur d'azimut (OBS). Si l'avion s'écarte à la droite de la radiale, le CDI se déplace vers la gauche de l'autre côté de la ligne du centre. Si l'avion s'écarte à la gauche de la radiale, le CDI se déplace vers la droite. Autrement dit, le CDI pointe en direction de l'endroit où se trouve la radiale. Pour centrer l'aiguille, dirigez-vous vers la radiale, c'est-à-dire dans la direction où pointe l'aiguille. Lorsque l'aiguille est centrée, l'avion se trouve de nouveau sur la bonne route.

C'est ce qui se produit en **mode de perception normale**, c'est-à-dire quand l'avion va dans la même direction que la radiale choisie.

**Exemple** : si la radiale choisie est 90° et que l'avion vole en direction de l'est, la perception est normale.

Par contre, si la radiale affichée est 90° et que l'avion vole vers l'ouest, la **perception est inversée**. Dans cette situation, pour centrer l'aiguille, il faudra virer dans la direction opposée.

La méthode de loin la plus simple consiste à choisir une radiale orientée sensiblement dans la même direction que le cap de l'avion et d'opérer en mode de perception normale.

Le CDI, tout comme l'indicateur «TO-FROM», donne une indication du passage de la station. Lorsque l'avion passe à la verticale de la station, l'aiguille dévie d'un côté pour revenir ensuite à sa position initiale.

## Suivre une radiale en rapprochement d'une station VOR

Admettons que vous désiriez vous rendre d'un endroit à un autre endroit pourvu d'un radiophare omnidirectionnel. Sur la carte, mesurez la route magnétique entre votre position actuelle et le radiophare où vous désirez vous rendre. (La rose des caps entourant la station VOR sur la carte facilite ces calculs.) La route magnétique que vous venez tout juste de mesurer est la radiale que vous devez suivre pour vous rendre à destination. Premièrement, affichez la fréquence de la station et écoutez attentivement l'indicatif. Puis :

1. Affichez sur le sélecteur d'azimut la radiale mesurée précédemment.
2. Orientez l'avion dans une direction qui vous permettra de suivre cette radiale.
3. Observez l'indicateur «TO-FROM». Vous devriez y lire «TO».
4. L'indicateur d'écart de route pointe maintenant dans la direction que doit prendre l'avion pour atteindre la radiale choisie. Conservez cette direction jusqu'à ce que l'aiguille soit centrée. Ensuite, modifiez votre cap de façon à garder l'aiguille centrée.

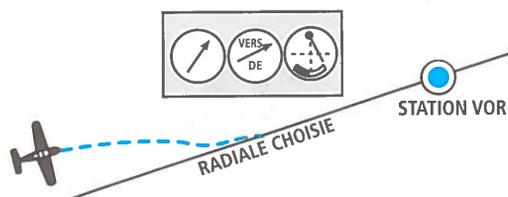


Image 10 – Suivre une radiale en rapprochement d'une station VOR

Cette procédure porte le nom **d'interception de radiale** et le cap suivi pour effectuer l'interception s'appelle tout simplement le **cap d'interception**. L'**angle d'interception** est l'angle formé par le cap d'interception et la radiale choisie. Si l'angle d'interception est grand (c.-à-d. près de 90°) vous atteindrez la radiale rapidement, mais à moins de virer rapidement, vous la dépasserez presque certainement. Un angle d'interception plus faible (environ 45° ou moins) vous amènera vers la radiale plus lentement, mais permettra un virage de transition plus confortable. Évidemment, si vous êtes assez près de la station, un angle d'interception trop petit risque d'amener votre avion passé la station avant que l'interception n'ait lieu. Vous devrez donc tenir compte du facteur distance de la station en choisissant l'angle d'interception.

La rapidité à laquelle vous vous approchez de la radiale est indiquée par le déplacement du CDI. S'il se déplace rapidement vers le centre, le taux d'interception est élevé. Le **taux d'interception** est déterminé par la vitesse-sol, l'angle d'interception, la distance de la station et selon si vous vous éloignez ou si vous vous approchez de la station.

Pour que la transition du cap d'interception à la radiale en rapprochement s'effectue en douceur, maintenez le cap d'interception jusqu'à ce que l'aiguille du CDI commence à bouger. Quand elle approche du centre, amorcez un virage graduel vers le cap de rapprochement voulu. Avec un peu de pratique, vous serez capable d'atteindre le cap de rapprochement désiré juste au moment où l'aiguille arrive au centre.

Quand vous passez à la verticale de la station, l'indicateur de lever de doute passe de «TO» à «FROM». Il s'agit là d'une indication positive du passage de la station. Admettons que vous vouliez retourner à la station. Exécutez un virage de 180° et n'oubliez

surtout pas de tourner le sélecteur d'azimut de 180° également. Si vous ne le faites pas, vous vous retrouverez en rapprochement de la station, mais avec une indication «FROM». L'aiguille recevra des indications inversées, de sorte qu'au lieu de virer dans la direction de l'aiguille, vous devrez virer du côté opposé.

Jusqu'à présent, nous avons insisté sur la nécessité de «suivre tout simplement l'aiguille». Maintenant, permettez-nous une mise en garde. L'exagération est toujours possible quand il s'agit de suivre l'aiguille! Gardez toujours à l'esprit que votre équipement omnidirectionnel VOR vous indique où vous êtes et non le chemin à prendre. Pour vous rendre à un endroit, vous devez **orienter** votre avion dans la bonne direction. «Le cap n'est pas l'aiguille», gardez en tête la direction à suivre.

Une fois interceptée la radiale désirée, virez toujours d'abord au cap de la radiale. Étant donné qu'une composante vent traversier est généralement présente, il est fort probable qu'après une brève période de temps vous notiez un certain écart par rapport à la route voulue. Afin de déterminer le cap qui vous permettra de rester sur la radiale, vous effectuerez une série de corrections destinées à compenser les effets de la dérive causée par le vent. Par exemple, admettons que vous suiviez la radiale 030° en rapprochement de la station A. Avec un cap de 030°, vous notez que vous avez dévié à gauche. Vous prenez donc un cap de 050° pour venir réintercepter la radiale (angle d'interception de 20°) et suivre la route de nouveau. Une fois la radiale réinterceptée, divisez l'angle d'interception par 2 et prenez un cap de 040°. Cette fois-ci, vous remarquez que vous dérivez légèrement vers la droite. Vous en déduisez que le bon cap à suivre pour rester sur la route se situe quelque part entre 030°, le cap qui vous fait déporter sur la gauche, et 040°, le cap qui vous fait dévier à droite. Interceptez la radiale de nouveau et suivez un cap d'environ 035°, ce qui devrait vous permettre de rester directement sur la route jusqu'à la station. Cette procédure d'interception de radiale accompagnée de corrections pour rester sur la route s'appelle voler en fourchetage (ou vol sur faisceau en zig-zag).

Ainsi, au lieu de servir d'instrument de vol primaire, l'aiguille sert plutôt de **guide** pour corriger le cap. De cette manière, vous éviterez de vous balader constamment d'un côté à l'autre de la radiale, sans jamais vous y arrêter.

Rappelez-vous que le **relèvement omni** et le **cap de l'avion** ne seront jamais bien éloignés l'un de l'autre, la différence entre les deux correspondant uniquement à l'angle de correction du vent. Par conséquent, centrez l'aiguille en effectuant de légères corrections de cap, pas en courant après l'aiguille, et vous verrez à quel point il est facile de se servir du VOR en vol.

## Suivre une radiale en éloignement d'une station VOR

La procédure est exactement la même que celle décrite ci-dessus, sauf que l'avion est orienté de façon à suivre une radiale qui l'éloigne de la station, de sorte que l'indicateur de lever de doute affiche «FROM».

## Le FIX – acquisition de position à l'aide de radiophares omnidirectionnels VHF

De la même manière qu'il nous a été possible d'établir la position d'un avion à l'aide de lignes de position obtenues par des relèvements compas, voir 7.5.7 – Les problèmes de navigation/ Les lignes de position, nous pouvons également le faire en nous servant de relèvements fournis par deux ou plusieurs stations VOR.

À l'image 11, le pilote suit la route A-B. Il décide de vérifier sa position. Il affichera d'abord la station VOR identifiée Y, puis tournera le sélecteur d'azimut jusqu'à ce que l'aiguille soit centrée. Comme nous le voyons, le sélecteur d'azimut indique 273° (FROM). Il affichera ensuite la station X et obtiendra une lecture de 185° (FROM). Il tracera ensuite sur la carte les deux lignes de position, 273° et 185° à partir des deux stations VOR. Le point où elles se croiseront indiquera sa position au moment où les relevements ont été pris.

Il est possible de déterminer la vitesse-sol et de faire des calculs de temps et de distance en établissant des points de position, à plusieurs reprises dans une période de temps donnée, à partir des mêmes stations VOR.

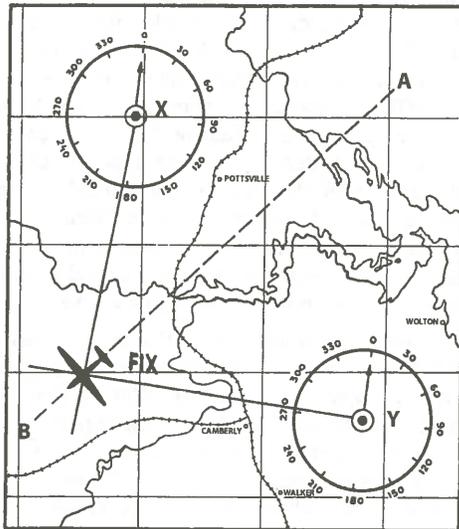


Image 11 – Le FIX – acquisition de position au moyen de radiophares omnidirectionnels VHF

## L'installation VOR double

Plusieurs avions sont équipés de deux unités NAV/COM complètes. En plus d'assurer la disponibilité d'une deuxième radio aux fins de la navigation et des communications au cas où la première ferait défaut, le pilote peut également utiliser les deux unités NAV simultanément. Par exemple, si se servira d'une unité pour suivre une radiale VOR en rapprochement ou en éloignement, pendant que l'autre unité lui fournira en même temps et en tout temps les relevements d'une autre station VOR, lui permettant ainsi de faire des points de position.

### 9.1.8 Le TACAN (système de navigation aérienne tactique UHF)

Le TACAN opère dans la bande des fréquences UHF comprises entre 960 MHz et 1215 MHz. Bien qu'il s'agisse d'un système militaire, les avions civils possédant l'équipement approprié peuvent aussi l'utiliser comme aide à la navigation. Il cumule les fonctions d'un VOR civil (omnidirectionnel) et d'un DME (équipement de mesure de distance.) Le TACAN indique donc au pilote l'azimut (ou direction) de la station affichée, ainsi que sa distance oblique en NM. Son utilisation exige un équipement TACAN spécial à bord de l'avion.

L'avion doté d'un équipement de mesure de distance (DME) peut interroger un TACAN en ce qui a trait aux renseignements sur la distance, mais toute information radiale apparente obtenue

via un récepteur VOR jumelé est invalide et doit être considérée fausse.

### 9.1.9 Le VORTAC

Jadis, le TACAN était un système de navigation distinct qui fournissait l'azimut et la distance seulement aux avions militaires. Quant au VOR/DME, il accomplissait les mêmes tâches, mais pour les avions civils. Puis on s'est rendu compte qu'il serait avantageux de combiner les deux systèmes en un seul. On a donc trouvé logique d'ajouter des TACAN aux stations VOR existantes, ce qui a permis de placer tout le trafic aérien militaire et civil sous un contrôle unique, utilisant des installations jumelées exploitées à partir d'emplacements géographiques communs. Ces installations sont les VORTAC.

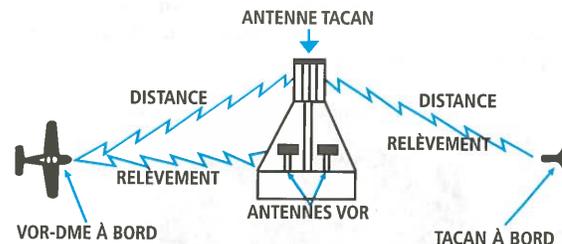


Image 12 – Station VORTAC illustrant les services disponibles selon l'équipement à bord des avions

Par conséquent, le VORTAC donne au pilote l'azimut, en rapprochement ou en éloignement, de la station VHF affichée, ou l'azimut et la distance sur UHF.

Le pilote disposant d'un récepteur VOR peut afficher une fréquence VORTAC sur sa radio et obtenir le guidage directionnel.

Le pilote qui dispose d'un DME peut interroger la station VORTAC pour obtenir les renseignements relatifs à la distance. (Le DME est expliqué plus en détail dans ce chapitre.)

Le pilote disposant d'un équipement TACAN peut obtenir à la fois l'azimut et la distance de la station VORTAC.

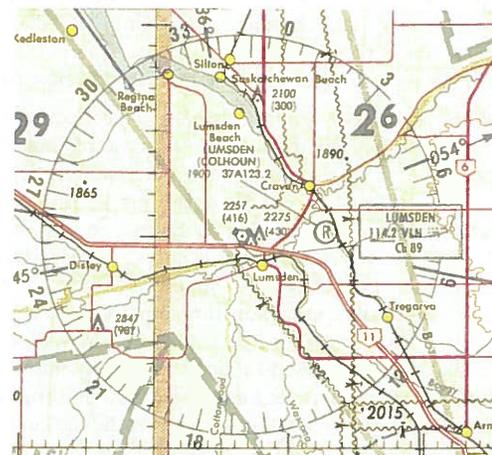


Image 13 – Station VORTAC

Sur les cartes aéronautiques, les stations VORTAC sont illustrées de la même manière que les VOR, sauf que le symbole figurant à l'emplacement de l'émetteur VORTAC possède trois côtés (voir image 13). Le canal TACAN et la fréquence VHF sont imprimés dans le rectangle des renseignements.

### 9.1.10 L'indicateur de situation horizontale (HSI)

L'indicateur de situation horizontale (HSI), parfois appelé affichage de situation en navigation (NSD) ou indicateur de navigation graphique (PNI), est un instrument qui combine l'affichage d'un conservateur de cap (ou gyroscope directionnel) et l'affichage d'un indicateur omnidirectionnel VOR. Il a été conçu de manière à simplifier la tâche du pilote en éliminant l'obligation de comparer les affichages de plusieurs instruments, de calculer mentalement les changements de cap, sans compter les balayages et les recouvrements constants. L'instrument permet au pilote de visualiser la position de son avion par rapport à la radiale choisie en fournissant le cap actuel, la route choisie, l'écart de route, l'emplacement de la station et, lors d'une approche aux instruments, la position relative de l'avion par rapport aux indicateurs d'alignement de descente et d'alignement de piste.

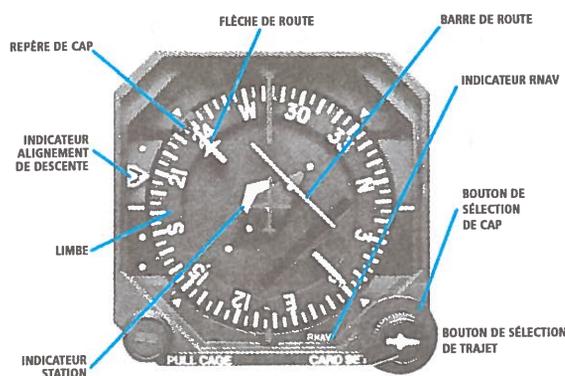


Image 14 – Indicateur de situation horizontale (HSI)

Le système compas du HSI peut se résumer à un simple conservateur de cap gyroscopique qu'il faut régler sur le compas magnétique avant le décollage et réajuster en vol pour neutraliser les effets de la précession. Les modèles plus coûteux bénéficient d'un système compas asservi. Un détecteur de flux est installé quelque part sur l'avion, là où les influences magnétiques sont les plus faibles (habituellement à l'extrémité de l'aile). Il perçoit tous les mouvements de l'avion par rapport au nord magnétique et corrige automatiquement les erreurs de précession du HSI.

La **rose compas** (ou **rose graduée du compas**) est contrôlée par le système gyroscopique du HSI. Elle fonctionne exactement de la même façon qu'un conservateur de cap, se déplaçant lorsque l'avion change de cap, de sorte que le cap de l'avion apparaisse toujours à la position 12 heures sous la ligne de foi. À l'image 14, on remarque que le cap approximatif de l'avion est de 285°. L'affichage NAV superposant la rose compas se déplace simultanément, montrant ainsi constamment la relation qui existe entre le cap actuel et la radiale VOR choisie. De cette façon, le HSI fournit sensiblement le même type d'affichage qu'un radiogoniomètre automatique (ADF). La flèche pointe toujours directement vers la station VOR et indique le cap approximatif à employer pour y parvenir.

Le **bouton de sélection de cap** (anneau extérieur entourant le bouton en bas à droite) sert à régler la **rose compas** contrôlée de manière gyroscopique et à corriger les erreurs de précession. Dans les systèmes asservis, ce bouton sert à régler le système avant le décollage.

Le  **curseur de cap** (ou **index cap sélectionné**) peut être réglé manuellement par le pilote (à l'aide du bouton situé en bas à gauche de l'instrument). Ce repère rappelle au pilote le cap à maintenir ou

le prochain cap à suivre. Lorsque le système HSI est jumelé à un système de pilotage automatique, le repère de cap contrôle le module cap du pilote automatique. Lorsqu'on tire sur le bouton qui contrôle le repère de cap, le gyroscope se bloque.

Le **bouton de sélection de trajet** (partie intérieure du bouton situé en bas à droite) contrôle la position de la **flèche de route**. Le pilote ajuste manuellement la flèche vis-à-vis la radiale voulue de la station VOR affichée. À l'image 14, 240° a été sélectionné (réciproque de la radiale 060°). Pendant que la graduation mobile (ou limbe mobile) tourne, la flèche de route se déplace en même temps, de façon à toujours indiquer la différence entre le cap de l'avion et la route choisie. La flèche est divisée en deux parties. La tête et la queue identifient la radiale choisie. La partie du centre agit comme un indicateur d'écart de route (CDI). En se déplaçant d'un côté ou de l'autre de la flèche, elle indique une dérive à gauche ou à droite de la radiale choisie, tout comme l'aiguille gauche/droite d'un indicateur VOR conventionnel. À l'instar des indicateurs VOR conventionnels, vous virez dans la direction de la barre pour intercepter la radiale choisie. Les petits points indiquent le nombre de degrés d'écart par rapport à la radiale. En mode d'utilisation VOR, chaque point représente 5°. À l'image 14, l'indicateur de route indique que l'avion s'est écarté 5° à gauche de sa route et qu'il doit virer vers la droite pour intercepter la radiale. Quand l'indicateur de route et les extrémités de la flèche sont alignés, l'avion se trouve sur la radiale choisie.

L'**indicateur TO/FROM** comporte deux flèches blanches alignées avec la flèche de route. Ces flèches jouent le même rôle que les indications «TO-FROM» d'un affichage VOR régulier. Quand la flèche pointe vers la tête de la flèche de route, comme à l'image 14, cela signifie que la radiale choisie mène vers la station «TO». Quand la flèche pointe vers la queue de la flèche de route, cela signifie que la radiale choisie s'éloigne de la station «FROM». Au passage de la station, la flèche passe de la position «TO» à la position «FROM», ou vice versa. Lorsque la radiale choisie se trouve à 90° du cap de l'avion, les flèches blanches disparaissent. (Dans la même situation, les indicateurs «TO/FROM» conventionnels afficheraient «OFF».)

Au centre de l'instrument se trouve une maquette d'avion stationnaire qui indique la position et le cap de l'avion en fonction des autres indications fournies par l'instrument. À chaque 45°, on remarque de minuscules triangles sur la périphérie du cadran pour aider le pilote à visualiser les virages conventionnels et les réciproques.

Un **indicateur d'alignement de descente** (ou **indicateur de radio-pente**) est également incorporé au secteur gauche du HSI. Il consiste en une tête de flèche qui se déplace vers le haut ou vers le bas, indiquant ainsi la position verticale de l'avion par rapport à la pente d'approche. L'avion doit voler en direction de la flèche pour intercepter le faisceau d'alignement de descente. À l'image 14, on remarque que l'avion se trouve en dessous de l'alignement de descente, il doit donc monter pour aller l'intercepter. En l'absence de signaux d'alignement de descente adéquats, l'indicateur et l'échelle sont recouverts d'un obturateur ou drapeau «OFF».

On peut jumeler le HSI à un système de navigation de surface (RNAV). Lorsque des commandes de direction sont générées par ce système, les lettres RNAV apparaissent en bas, à la droite de l'affichage HSI, voir 9.8 – La navigation de surface.

Le HSI comprend aussi un signal d'alerte du **drapeau du mode CAP** de couleur rouge qui apparaît au centre de l'instrument pour signaler une perte de courant électrique ou l'incapacité du limbe d'azimut à suivre le gyroscope ou le système asservi. Un signal d'alerte également rouge du **drapeau du mode NAV** apparaît à droite au bas de l'affichage chaque fois que le signal de l'émetteur VOR affiché n'est pas reçu ou qu'il est trop faible pour qu'on puisse s'y fier.

## 9.2 Les radiophares

Plusieurs types de radiophares sont en usage le long des voies aériennes, autant d'aides à la navigation additionnelles.

### 9.2.1 Les radiophares non directionnels (NDB)

Les **radiophares non directionnels (NDB)** de faible puissance fonctionnent généralement dans la bande des fréquences 190-415 KHz et 510-535 KHz. Ils sont situés près des aéroports où ils assistent le pilote dans l'exécution des procédures d'approche aux instruments et des circuits d'attente.

Des radiophares non directionnels (NDB) peuvent être installés sur le faisceau d'alignement de piste de l'ILS. Ils fonctionnent toutefois indépendamment de l'ILS sur une base continue. Ils sont installés à ces endroits pour permettre à un aéronef de se diriger vers le faisceau d'alignement et de suivre la trajectoire d'approche au moyen de l'ADF. C'est pourquoi on les nomme parfois **radiobalises** (ou **balises radiocompas**, ou encore **balises de ralliement**). Ces NDB émettent un indicatif d'une seule lettre : la radiobalise de l'alignement avant émet la première lettre d'un indicatif à deux lettres servant à identifier le faisceau d'alignement de piste, alors que la radiobalise d'alignement arrière émet la seconde.

**Exemple :** à Ottawa, la radiobalise d'alignement NDB avant émet un «O» et la radiobalise d'alignement arrière émet un «W».

Des radiophares non directionnels (NDB) plus puissants assurent également des services en route. Ces stations constituent la base du réseau de voies et de routes aériennes LF/MF. L'utilisation de ces installations exige la présence d'un ADF à bord de l'avion. L'identification consiste en un indicatif de station à deux lettres émis en morse.

**Exemple :** le NDB de Flin Flon émet «FO». Certains NDB servent aux communications en phonie.

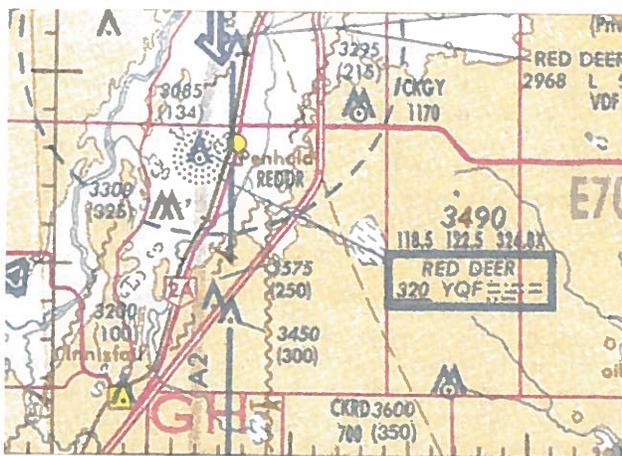


Image 15 – Radiophare non directionnel

Sur les cartes aéronautiques, les NDB sont identifiés au moyen de cercles ombragés. L'image 15 montre le NDB de Red Deer, en Alberta. Le nom du NDB, son indicatif à deux lettres et l'équivalent en morse, de même que la fréquence LF sur laquelle il émet, sont imprimés sur la carte dans le rectangle de renseignements adjacent.

### 9.2.2 Les radiobornes en éventail

Les **radiobornes en éventail** servent à fournir le guidage sur les approches aux instruments de certains aéroports situés dans les vallées entre les montagnes.

Les radiobornes en éventail émettent un signal dont le diagramme de rayonnement est elliptique et dont la dimension principale est à angle droit par rapport à la trajectoire de l'alignement de piste. Elles sont placées sur les faisceaux d'alignement de piste dans le but d'identifier certains points sur la trajectoire. Les radiobornes en éventail sont codées et émettent une tonalité aiguë. Elles déclenchent le voyant blanc sur le récepteur de radiobornes de l'aéronef.

### 9.2.3 Les radiobornes marines

Les **radiobalises maritimes** émettent sur les bandes de fréquences basses et moyennes un signal qui comporte une série de lettres codées. Certaines radiobornes marines fonctionnent continuellement durant la saison de navigation et peuvent être utilisées par les aéronefs pour les besoins de la navigation. Seules quelques radiobornes marines sont indiquées sur les cartes aéronautiques.

## 9.3 Le système d'atterrissage aux instruments (ILS)

Le **système d'atterrissage aux instruments (ILS)** est une façon de guider le pilote à travers une couche soudée de nuages en vue de l'atterrissage, par référence visuelle à des instruments situés sur le tableau de bord. Le système fournit une information précise sur l'axe d'alignement de piste et l'axe de descente vers la piste.

Le système comprend un radiophare d'alignement de piste (ou LLZ ou LOC), un dispositif de radioalignement de descente (ou émetteur radio-pente, ou radiophare d'alignement de descente) et un NDB situés le long de la trajectoire d'approche. Un repère DME peut remplacer le NDB.

Le **radiophare d'alignement de piste** émet un faisceau radio dont le rôle consiste à garder le pilote aligné sur le centre de la piste. L'émetteur en question est situé à l'extrémité éloignée de la piste (c.-à-d. l'extrémité opposée à l'approche). Il fonctionne sur la bande des fréquences VHF comprises entre 108,1 MHz et 111,9 MHz (fréquences impaires). L'émetteur émet deux lobes, l'un modulé sur 90 Hz et l'autre sur 150 Hz. Le signal 90 Hz est à la gauche de la ligne du centre de la piste, alors que le signal 150 Hz est à la droite. Lorsque l'avion se trouve quelque part sur le prolongement de la ligne du centre, il reçoit les deux signaux également et l'aiguille de l'alignement de piste (affichage du VOR) reste donc centrée. L'avion restera aligné sur la piste si le pilote maintient un cap qui lui permet de garder l'aiguille au centre. L'alignement de piste, associé à l'alignement de descente et à la radioborne extérieure, s'appelle **l'alignement de piste avant** (ou **alignement avant**). Plusieurs installations d'alignement de piste offrent aussi un **alignement de piste arrière** (ou **alignement arrière**, ou BCRS, ou BC). la réciproque d'un alignement avant, qui permet au pilote d'effectuer une approche de non-précision dans l'autre direction. Cependant, en approche sur l'alignement arrière, l'aiguille fonctionne à l'envers; il est donc nécessaire d'effectuer les corrections à l'opposé des indications de l'aiguille. Il n'y a pas d'alignement de descente sur un alignement arrière. Il est à noter que tous les radiophares d'alignement de piste n'émettent pas nécessairement un signal exploitable en alignement arrière. Toujours

vérifier l'information publiée concernant l'approche ILS d'une piste quelconque.

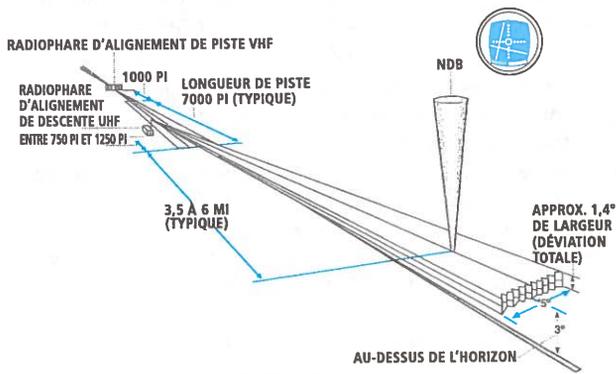


Image 16 – Système d'atterrissage aux instruments (ILS)

Le diagramme démontre les aiguilles de l'alignement de piste et de l'alignement de descente : 1) les indications révèlent que l'avion est à côté du faisceau d'alignement de piste, c.-à-d. à la droite. 2) Pour revenir sur le faisceau et se centrer sur l'aiguille verticale, le pilote devra corriger vers la gauche. 3) L'avion est également au-dessus de l'alignement de descente. 4) Pour corriger sa position, le pilote devra se centrer sur le faisceau d'alignement de descente et descendre vers l'aiguille horizontale.

**Note :** les indications des aiguilles ne s'appliquent que lorsque le pilote est en approche vers le terrain. Lorsqu'il s'éloigne du terrain, les indications sont inversées.

Le faisceau de radioalignement de descente, assure le guidage de l'aéronef sur la trajectoire de descente, guidage qui lui permettra de se poser sur le seuil de la piste. L'émetteur de l'alignement de descente est situé 1000 pi du côté de l'approche de la piste et décalé d'environ 400 pi par rapport au centre de la piste. Il fonctionne dans la plage des fréquences UHF comprises entre 329,3 MHz et 335,0 MHz. Chaque fréquence d'alignement de descente est couplée à celle de l'alignement de piste qui lui est associé. Le centre du faisceau d'alignement de descente est aligné sur le centre du faisceau d'alignement de piste (c.-à-d. la zone d'intensité égale entre les lobes 90 Hz et 150 Hz) et se prolonge environ 1° au-dessus et en dessous du centre. La projection de l'alignement de descente est habituellement réglée à un angle de 3° par rapport à l'horizon. Il n'existe pas d'alignement de descente arrière exploitable. Sur certains aéroports, on retrouve un ILS à chacune des extrémités de la piste, de sorte qu'il soit possible d'exécuter un alignement avant quelle que soit la direction de l'approche. Les deux systèmes sont connectés de telle manière qu'un seul est en opération à la fois.

L'identification des radiophares d'alignement de piste et de descente est émise sur la fréquence du radiophare d'alignement de piste sous forme d'un indicatif à deux lettres ou lettre-chiffre précédé de la lettre « I » : un espace de 1,2 sec sépare le « I » de l'identificateur standard.

**Exemple :** I OW - ILS d'Ottawa

Sur le tableau de bord, l'instrument qui permet au pilote de suivre ces deux faisceaux est l'indicateur du VOR, plus précisément le CDI et la barre (aiguille) horizontale d'alignement de descente, voir 9.1.5 – Les instruments OMNI, image 7, et 9.3 – Le système d'atterrissage aux instruments (ILS), image 16. La barre verticale (alignement de piste) et la barre horizontale (alignement de descente) fournissent au pilote les indications voulues. Si l'aéronef s'écarte à droite ou à gauche de l'axe d'alignement de piste au cours de l'approche, la barre verticale indiquera de

quel côté il s'en écarte et l'amplitude de son écart. La barre horizontale signale que l'aéronef se trouve au-dessus ou en dessous de la trajectoire de descente appropriée. Un drapeau alerte le pilote que le signal reçu est faible, nul ou douteux.

Un émetteur NDB de faible puissance est généralement installé dans l'axe du radiophare d'alignement de piste (avant et arrière) entre 3,5 mi et 6 mi du seuil de la piste, émetteur qui sert de repère au pilote pour la transition au ILS. Dans certains cas, un NDB en route est installé sur l'alignement de piste pour qu'il puisse servir à la fois d'installation terminale et d'installation en route. Ces NDB émettent un indicatif à une seule lettre : le NDB installé sur l'alignement avant émet la première lettre de l'indicatif à deux lettres de l'alignement de piste et l'autre, situé sur l'alignement arrière, émet la seconde.

Là où il n'est pas pratique d'installer des NDB, un DME peut être installé pour fournir l'information sur la distance et définir le repère d'approche initiale et le repère d'approche interrompue.

Un perfectionnement subséquent du système a permis de jumeler l'ILS au pilote automatique et de rendre l'avion ainsi capable de suivre automatiquement les deux faisceaux jusqu'à l'atterrissage.

À l'origine, les installations comprenaient plusieurs radiobornes (ou MKR). Une radioborne extérieure et une radioborne intermédiaire étaient installées sur l'alignement avant et une radioborne arrière était parfois installée sur l'alignement arrière. Leur rôle était de fournir au pilote l'information sur la distance de l'aéronef par rapport au seuil de la piste lors d'une approche aux instruments. Les radiobornes émettaient des signaux sonores perçus sous forme de traits et/ou de points. Elles activaient également des voyants lumineux sur le récepteur des radiobornes de l'aéronef. La plupart de ces radiobornes sont en voie d'être remplacées par des NDB. Il est toutefois possible que certaines soient retenues là où les particularités du terrain rendent difficile l'installation d'un NDB.

Le faisceau diffusé par l'alignement de piste de l'ILS est considéré valable et fiable jusqu'à 35° de part et d'autre de l'axe d'un alignement avant sur une distance de 10 NM et jusqu'à 10° de part et d'autre de l'axe d'un alignement avant ou arrière sur une distance de 18 NM depuis l'émetteur. Au-delà de ces limites, on peut s'attendre à des indications fausses ou incohérentes.

La défaillance de certains éléments des systèmes d'antennes de l'alignement de piste peut occasionner de fausses captures d'alignement de piste ou des marges de franchissement basses à l'extérieur de 8° de l'axe d'alignement de piste en alignement avant ou arrière. Il pourrait en résulter une indication prématurée d'interception ou d'arrivée à proximité de l'axe de piste. C'est pourquoi une approche couplée ne devrait pas être entreprise tant que l'aéronef n'est pas stabilisé sur l'axe d'alignement de piste. De plus, il est indispensable de confirmer l'indication d'arrivée sur l'axe de l'alignement de piste en référant au cap de l'aéronef. Les fausses captures peuvent se produire dans n'importe quelle plage d'azimut entre 8° et 35°, mais elles sont plus susceptibles de se manifester dans un angle d'azimut approximatif de 8° à 12° par rapport à la trajectoire d'alignement de piste publiée.

Les effets des perturbations électromagnétiques sur l'intégrité du système de radiophare d'alignement de piste ILS prennent plus d'ampleur particulièrement dans les agglomérations où les transformateurs, les activités industrielles et les émetteurs de radiodiffusion créent des interférences sur les récepteurs d'alignement.

La perturbation peut être temporaire. Certains récepteurs y sont plus sensibles que d'autres. Les perturbations n'occasionneront probablement pas d'indications erronées lorsque l'aéronef sera exploité à l'intérieur des limites établies ci-dessus.

### 9.3.1 Les catégories d'ILS

(Référence : AIM paragraphe 3.12.6)

**Catégorie I (CAT I)** : la catégorie opérationnelle «I» permet l'exploitation jusqu'à une hauteur minimale de décision (DH) de 200 pi avec une visibilité de 2600 pi, ou avec un RVR de ½ SM. Réf. : voir Catégorie III.

**Catégorie II (CAT II)** : la catégorie intérimaire «II» permet l'exploitation jusqu'à une hauteur minimale de décision d'aussi bas que 100 pi et un RVR de 1200 pi. Réf. : voir Catégorie III.

**Catégorie III (CAT III)** : Les minima pour cette catégorie sont donnés dans le manuel d'exploitation, els spécifications d'exploitation du transporteur ou le Canada Air Pilot. Réf. : AIM, paragraphe 3.12.6.

Les feux d'approche (ou rampe d'approche, ou balisage lumineux d'approche, ou système de balisage lumineux d'approche) sont installés aux aéroports approuvés pour l'exploitation de CAT I, CAT II ET CAT III.

### 9.3.2 L'approche en alignement de piste

Un alignement de piste sans alignement de descente est disponible sur certains aéroports. Son rôle consiste uniquement à guider le pilote sur la bonne route durant l'approche. Ces installations sont quelquefois complétées par un alignement arrière. Lorsque l'alignement de piste se trouve dans les 3° de l'axe de piste, on parle de procédure d'approche aux instruments LOC (alignement de piste).

## 9.4 Le système d'atterrissage hyperfréquence (MLS)

Tout comme l'ILS, le système d'atterrissage hyperfréquences (MLS) est conçu pour fournir un guidage précis sous forme d'alignement de piste et de descente au moment de l'approche et de l'atterrissage. Le MLS est considéré plus fiable et plus précis que l'ILS. En outre, le MLS se prête particulièrement bien aux installations où l'ILS ne peut être envisagé, soit parce que le terrain est difficile, soit parce que la préparation du site est trop élaborée ou encore, que ce soit en raison de l'insuffisance de fréquences ILS.

Alors que l'ILS permet une seule trajectoire d'approche fixe, le MLS émet deux faisceaux de balayage, l'un vertical et l'autre latéral, pour offrir une variété de trajectoires d'approche adaptées aux différents types d'aéronefs, allant des gros-porteurs à réaction aux aéronefs conçus pour décollages et atterrissages courts et aux hélicoptères.

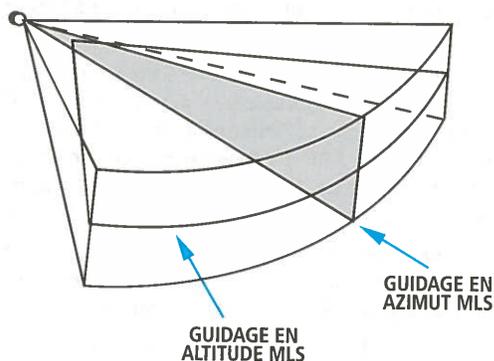


Image 17 – Système d'atterrissage hyperfréquences (MLS)

L'émetteur de guidage en azimut d'approche avant projette un faisceau de balayage horizontal qui se déplace en un mouvement de va-et-vient de gauche à droite de l'axe de la piste. Le balayage se poursuit généralement sur 40° des deux côtés, mais il peut être ajusté en fonction du terrain ou autres contraintes. Le récepteur MLS de bord détermine la position en calculant le temps entre les balayages «TO» et «FROM» du faisceau. À l'image 18, un long intervalle (A) indique que l'avion se trouve à droite de la ligne du centre, alors qu'un court intervalle (B) indique que l'avion se trouve à gauche. La portée du faisceau de guidage en azimut est d'au moins 20 NM (horizontalement) et 20 000 pi (verticalement).

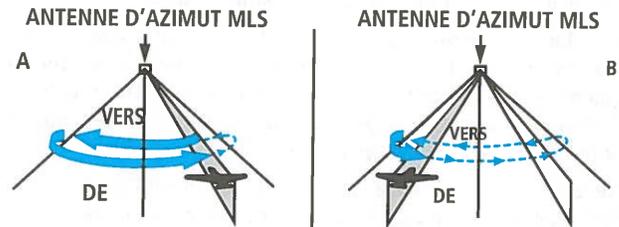


Image 18 – Antenne d'azimut MLS

L'émetteur de guidage en altitude projette un faisceau en éventail qui se déplace de haut en bas à travers toute la zone de couverture en azimut. Au cours d'un balayage vertical, le faisceau parcourt un angle de 15° depuis le plan horizontal. Le récepteur MLS de bord mesure le temps entre les balayages du faisceau pour déterminer l'angle de descente de l'avion.

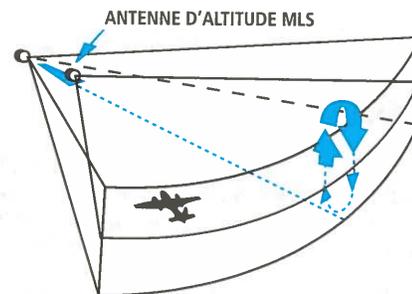


Image 19 – Antenne d'altitude MLS

L'unité de contrôle du récepteur MLS permet au pilote de choisir une trajectoire d'approche pouvant aller jusqu'à 40° à gauche et 40° à droite de l'axe de la piste et un angle de descente de 1° à 15°. Cependant, un angle de descente minimal est déterminé pour chaque installation MLS, angle qui assure une marge de franchissement adéquate par rapport au terrain et aux obstacles se trouvant sur la trajectoire d'approche. Ce nombre est transmis sous forme de donnée digitale et il représente l'angle minimal de descente pouvant être choisi. Une fois l'ajustement des angles d'azimut et d'altitude réglé, le pilote reçoit un guidage latéral et vertical à l'approche de la piste très précis.

Le système MLS peut éventuellement inclure le guidage en azimut arrière qui émet un faisceau destiné au guidage latéral au départ ou en cas d'approche interrompue. La couverture latérale est limitée à 20° de part et d'autre de l'axe central. La portée est approximativement de 5 NM jusqu'à une altitude d'environ 5000 pi.

L'information de distance (DME de précision) fait également partie du système MLS. Des données précises relativement à la distance qui reste à parcourir sont reçues par l'avion. Ces données proviennent d'un émetteur DME/P (dispositif de mesure de distance/P = mesure précise de la distance).

## La radio navigation : l'équipement ADF

Le fonctionnement de cet appareil est très semblable à celui d'un DME standard, sauf qu'il est plus précis.

Toutes les installations MLS diffusent des données de base telles que l'indicatif de la station, le canal DME/P et l'information directement reliée à l'exploitation du système d'atterrissage. Certains MLS diffusent en outre des renseignements additionnels, comme les conditions météorologiques et l'état des pistes, etc.

Le MLS (système d'atterrissage hyperfréquences) émet sur la plage des fréquences de la bande C, entre 5031 MHz et 5091 MHz. Deux cents canaux individuels sont disponibles.

L'indicatif d'une station MLS comprend quatre lettres et débute par la lettre «M». L'indicatif est transmis en morse.

Les données de guidage vertical et latéral sont affichables sur les indicateurs d'écart de route conventionnels et les renseignements sur la portée sur des récepteurs DME standards. L'information complète peut également être affichée sur des unités d'affichage à usages multiples.

Le plus grand avantage du MLS est sa flexibilité. Il permet les approches arquées et segmentées, le choix d'une variété d'angles de descente, le positionnement tridimensionnel (3-D) précis de l'avion dans l'espace, l'établissement de frontières permettant de réduire l'espacement entre les aéronefs et facilitant les manoeuvres de décollage et d'atterrissage (VTOL et STOL) sur piste courte. Le système est peu susceptible aux interférences causées par le trafic au sol et les conditions météorologiques défavorables, comme les fortes chutes de neige, qui affecteraient certainement un ILS.

## 9.5 Le radiogoniomètre automatique (ADF)

Le **radiogoniomètre automatique (ADF)** est une aide à la navigation aérienne très utile. Il sert au radiorallèlement ou à déterminer la position à partir de n'importe quelle station qui diffuse dans les bandes de fréquences basses et moyennes (LF/MF).

Les installations aéronautiques fonctionnant dans la bande des basses fréquences comprennent les radiophares non directionnels et les NDB jumelés avec des radiophares d'alignement de piste ILS. L'ADF peut également capter les signaux émis par les stations AM de radiodiffusion commerciale et s'en servir pour le radiorallèlement.

Une installation radio aéronautique LF/MF (NDB, etc.) se reconnaît facilement par la diffusion continue de son indicatif en morse. Dans le cas d'une station de radiodiffusion commerciale, il faut parfois écouter pendant un certain temps avant d'entendre l'indicatif et ainsi établir une identification positive. Toutefois, les sélecteurs de fréquence digitaux retrouvés sur les récepteurs modernes facilitent l'affichage précis d'un poste particulier.

Le grand avantage de l'ADF est sa portée. Non tributaire de la portée optique inhérente au système VHF omnidirectionnel (VOR), le récepteur ADF est capable de capter les signaux de stations fort éloignées.

### 9.5.1 L'équipement ADF

Le système ADF comprend un récepteur ADF, une antenne à cadres, une antenne de lever de doute et un indicateur de gisement.

## Les antennes

Deux antennes sont requises pour le fonctionnement de l'ADF. L'une, l'**antenne de lever de doute**, est non directionnelle et fournit les renseignements sur la direction.

L'autre, l'**antenne cadre**, perçoit le gisement (relèvement) magnétique de l'avion vers la station.

Lorsque l'ADF a fait son apparition, il y a de cela bien des années, l'antenne cadre était une installation compliquée qu'il fallait tourner à la main pour capter les signaux maxima et minima d'une station. L'équipement ADF moderne fait usage de circuits intégrés et comporte peu de pièces mobiles. Il est par conséquent plus facile à manipuler et plus fiable.

L'antenne de lever de doute se présente ordinairement sous forme d'un long fil installé sur le dessus de l'avion. Ce fil prend naissance à l'isolateur situé sur le dessus du fuselage et se prolonge jusqu'à l'empennage.

L'antenne cadre, un anneau de métal à l'intérieur duquel on retrouve des bobinages de fils isolés, est généralement enfermée dans un carénage, sous le fuselage, à l'avant.

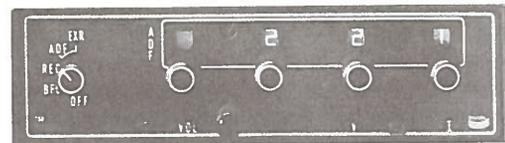


Image 20 – Radiogoniomètre automatique (ADF)

Des innovations récentes des équipements ADF ont permis de combiner l'antenne cadre et l'antenne de lever de doute en une seule, soit l'**antenne sabre** (ou **antenne lame**). Cette antenne est montée sur le dessus du fuselage.

## Le récepteur ADF

Les récepteurs ADF digitaux modernes permettent la sélection rapide et précise de la station choisie. Ils reçoivent les stations réparties sur la plage des LF/MF.

Le récepteur ADF, tel le récepteur illustré à l'image 20, reçoit l'information de l'antenne et la convertit de manière à entraîner le déplacement de l'aiguille de l'indicateur de gisement.

Le récepteur ADF comporte un sélecteur de fonctions à 5 positions.

La position «REC» (ANT pour ANTENNE sur d'autres unités ADF) sert à mettre en circuit uniquement l'antenne de lever de doute ou antenne non directionnelle. L'antenne cadre et l'indicateur de gisement sont donc hors circuit. Le sélecteur étant dans cette position, le récepteur fonctionne comme un simple récepteur LF/MF, captant les émissions en phonie de la station affichée. Cette position sert seulement à l'identification et à l'écoute des stations.

Lorsqu'il se trouve à la position ADF, le récepteur met en circuit l'antenne cadre du radiogoniomètre automatique (ADF) qui, combinée au signal reçu par l'antenne de lever de doute, permet le radiorallèlement du ADF. La réception audio de la position «REC» est retenue, mais le pilote baisse habituellement le volume une fois établie l'identification positive de la station.

La position «EXR» est particulière à l'ADF illustré à l'image 20. Elle permet de choisir une portée accrue pour la réception nette et puissante de signaux émis par des stations très éloignées.

L'**interrupteur d'oscillateur de battement** prête une assistance auditive à l'ajustement d'une station. On doit l'utiliser uniquement pour l'accord de signaux non modulés, par exemple ceux

émis par les stations de certains pays étrangers. Elle n'est pas conçue pour être utilisée avec les signaux modulés émis par les stations de radiodiffusion commerciale et les stations aéronautiques LF du Canada et des États-Unis. La fonction BFO permet d'entendre l'indicatif en morse sous-jacent à travers la tonalité du signal non modulé. Une fois la station réglée et identifiée, le sélecteur de fonction sera remis sur ADF.

## L'indicateur de gisement

L'indicateur de gisement de l'ADF comprend une aiguille et un cadran d'azimut gradué en degrés, de 0 à 360. Certains indicateurs sont munis d'un limbe fixe, comme celui de l'image 21, alors que d'autres possèdent un limbe mobile, comme celui de l'image 22.



Image 21 – (3D) Indicateur de gisement ADF (à limbe fixe)

Avec un **indicateur de gisement à limbe fixe**, le nez de l'avion est toujours orienté sur le 0 de l'indicateur, indépendamment du cap magnétique réel de l'avion.

Avec un indicateur de gisement à limbe mobile, le pilote est en mesure de faire tourner le cadran d'azimut pour qu'il corresponde au cap de l'avion indiqué par le conservateur de cap et le compas magnétique.

Quel que soit le type d'indicateur de gisement, l'aiguille pointe toujours dans la direction de la station affichée sur le récepteur.

L'antenne cadre qui détecte le relèvement magnétique de la station est alignée sur l'axe longitudinal de l'avion. Elle mesure, dans le sens des aiguilles d'une montre, le nombre de degrés compris entre l'axe longitudinal de l'avion et la station, information que l'aiguille de l'ADF affiche ensuite sur l'indicateur de gisement. Cet affichage est le gisement relatif.

On peut donc déterminer le relèvement magnétique d'une station à partir de l'information affichée. Le relèvement magnétique représente la somme du cap magnétique de l'avion et du **gisement relatif** (ou **gisement**).

Par exemple, l'ADF de l'image 21 se trouve dans un avion qui suit un cap magnétique de 090°. L'indicateur ADF de gisement (à limbe fixe) indique que la station affichée sur le récepteur ADF possède un gisement relatif de 290° par rapport à l'avion. Le relèvement magnétique vers la station (c.-à-d. le cap magnétique que l'avion devrait suivre pour aller directement vers la station) serait donc de 020° (090° + 290°).

$$\begin{aligned} \text{Relèvement magnétique} &= \\ \text{Cap magnétique} + \text{Gisement relatif} \\ \text{RM} &= \text{CM} + \text{GR} \\ \text{Ou inversement,} \\ \text{CM} &= \text{RM} - \text{GR} \text{ ou } \text{GR} = \text{RM} - \text{CM} \end{aligned}$$

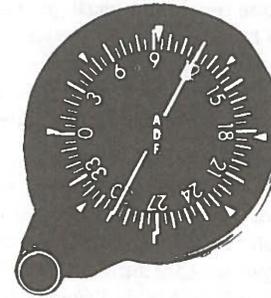


Image 22 – (3D) Indicateur de gisement ADF (à limbe mobile)

L'indicateur de gisement ADF à limbe mobile affiche automatiquement le relèvement magnétique de la station. À l'image 22, le cadran d'azimut a été manipulé de manière à indiquer 090° et à correspondre ainsi au cap magnétique de l'avion. L'aiguille indique que la station affichée sur le récepteur ADF possède un relèvement magnétique de 120° (le gisement étant de 30°).

## 9.5.2 La navigation à l'ADF

Tout d'abord, revoyons le comportement de l'indicateur de gisement dans différentes situations de vol.

Prenons l'exemple de l'avion doté d'un indicateur de gisement à limbe fixe. Si l'avion se dirige directement vers la station, l'aiguille de l'indicateur pointe tout droit vers le haut, 000° (c.-à-d. vers le nez de l'avion). Si l'avion s'éloigne directement de la station, l'aiguille de l'indicateur pointe tout droit vers le bas, 180° (c.-à-d. vers la queue de l'avion). Si l'avion vire à 90° par rapport au signal de la station, de sorte que cette dernière se trouve à sa gauche, l'aiguille pointe vers 270° (c.-à-d. vers l'aile gauche). Si la station se trouve à sa droite, l'aiguille pointe vers 090° (c.-à-d. vers l'aile droite).

Admettons que l'indicateur de gisement soit muni d'un limbe mobile. L'avion de l'exemple précédent suit un cap magnétique de 020°. Le pilote a fait tourner le limbe de l'indicateur de gisement jusqu'à ce que 20 apparaisse sous le repère d'azimut en haut de l'instrument. Si l'avion se dirige directement vers la station, l'aiguille pointe tout droit sur 020°. Si l'avion s'éloigne directement de la station, l'aiguille pointe vers le bas sur 200° (020° + 180°). Si la station se trouve directement au bout de l'aile gauche, l'aiguille pointe sur 290° (020° + 270°). Enfin, si la station se trouve au bout de l'aile droite, l'aiguille pointe sur 110° (020° + 090°).

Maintenant, si l'avion suit une route qui l'amènera exactement à la verticale de la station affichée sur le récepteur ADF, sur le cap de rapprochement, l'aiguille de l'ADF pointera vers 000° (limbe fixe). Dès le passage de la station, l'aiguille se déplacera et pointera vers 180° alors que l'avion s'éloignera de la station.

Imaginons que l'avion suit une route qui l'amènera passé la station qui se trouve au bout de son aile droite. Au fur et à mesure que l'avion approche de, puis dépasse la station, l'indication de l'aiguille sera graduellement supérieure à l'indication initiale, passant 90° en allant vers 180°. Aussi longtemps que l'avion conservera un cap constant, l'aiguille de l'indicateur ne pointera jamais directement vers 180°, puisque la station ne se trouvera jamais exactement derrière l'avion.

Dans l'exposé qui suit sur l'utilisation de l'ADF, nous assumons que l'avion est équipé d'un indicateur de gisement ADF à limbe fixe.

## Le radoralliment

Pour se rendre directement à la radiobalise ADF affichée sur le récepteur, il suffit de faire virer l'avion jusqu'à ce que l'aiguille de l'indicateur de gisement pointe sur 000°. En gardant l'aiguille

sur le zéro, on suit une trajectoire rectiligne vers la station. Au passage de l'avion à la verticale de la station, l'aiguille exécute un 180° indiquant ainsi que la station se trouve désormais derrière l'avion. L'avion peut alors poursuivre sa trajectoire en éloignement en gardant l'aiguille de l'indicateur de gisement pointé sur 180°.

La méthode ci-dessus n'est valable que par vent nul. Le vent a cependant tendance à faire dévier l'avion d'un côté ou de l'autre de la trajectoire rectiligne menant à une station. On est donc obligé de compenser constamment les effets de la dérive pendant que l'ADF garde le nez de l'avion pointé en direction de la station. La trajectoire réelle suivie par l'avion sera par conséquent une ligne courbe (voir image 23).

Le changement progressif de cap sera communiqué au pilote par le compas magnétique ou le conservateur de cap.

Lorsqu'un vent traversier écarte l'avion de sa trajectoire rectiligne vers une station, il est possible de réduire la courbe de la trajectoire en appliquant la méthode suivante :

Le pilote a affiché la station qu'il désire rallier et il a centré l'aiguille de l'ADF sur 000°. Étant donné que la route magnétique qu'il veut suivre est de 090°, le conservateur de cap lira 090° (voir image 23 «A»).

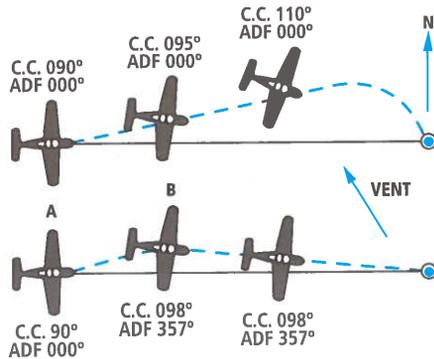


Image 23 – Correction de dérive

Après quelques minutes, le pilote s'aperçoit que son conservateur de cap indique 095°. Il réalise donc que l'aéronef est déporté à bâbord et que le vent souffle de tribord. Il oriente le nez de l'avion, disons, 3° de plus dans le vent, suivant ainsi 357° sur l'ADF plutôt que 000° (098° sur le C.C. - conservateur de cap) (voir image 23 «B»).

*Remarquez que lorsqu'on modifie le cap à tribord sur le conservateur de cap (c.-à-d. que le cap augmente), le cap change également sur l'ADF, mais à bâbord (c.-à-d. qu'il diminue).*

Si le cap continu de changer à tribord sur le conservateur de cap, le pilote prendra quelques degrés de plus du côté d'où vient le vent et ce, jusqu'à ce qu'il note que le cap reste enfin constant. À ce moment, il aura neutralisé la dérive causée par le vent et établi un cap qui l'amènera directement à la station.

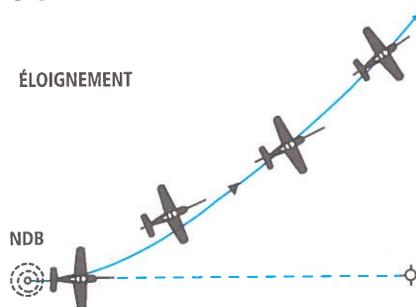


Image 24 – Erreur de ralliement inverse

Une fois qu'il aura atteint, puis dépassé la station ADF, le pilote se montrera particulièrement vigilant dans le maintien de la route voulue en éloignement. Quand le vent traversier est relativement fort et que le pilote garde l'aiguille de l'ADF alignée sur la queue de l'avion (180°) permettant ainsi au cap de changer librement, l'avion suit une trajectoire courbe qui l'éloignera de la destination choisie. Cette **erreur de ralliement inverse** risque de l'écarter considérablement de sa route. Suivre un relèvement en éloignement exige une attention toute particulière de la dérive, de l'angle de correction et du cap.

## L'interception d'une route ADF

Quelquefois, le pilote désire suivre une route spécifique pour se rendre à une station. Cela se produit généralement lorsqu'une installation ADF, par exemple un NDB, est située à plusieurs milles d'un aéroport. Le prolongement de la route magnétique reliant le NDB à l'aéroport est la route que le pilote doit intercepter, et par la suite suivre, pour arriver au-dessus de la station au cap même qui lui permettra de parvenir directement à l'aéroport.

Après avoir affiché la station, le pilote doit choisir, au moyen du C.C. (conservateur de cap), le cap magnétique qui permettra l'interception de la route requise pour rallier l'installation ADF en question. En appliquant la formule  $GR = RM - CM$ , il est relativement facile de déterminer le gisement qui, une fois affiché sur l'indicateur de l'ADF, signalera l'interception de la route désirée.

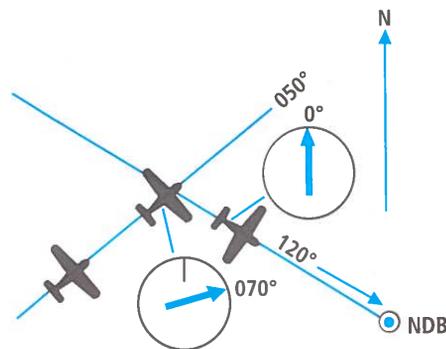


Image 25 – Interception d'une route ADF

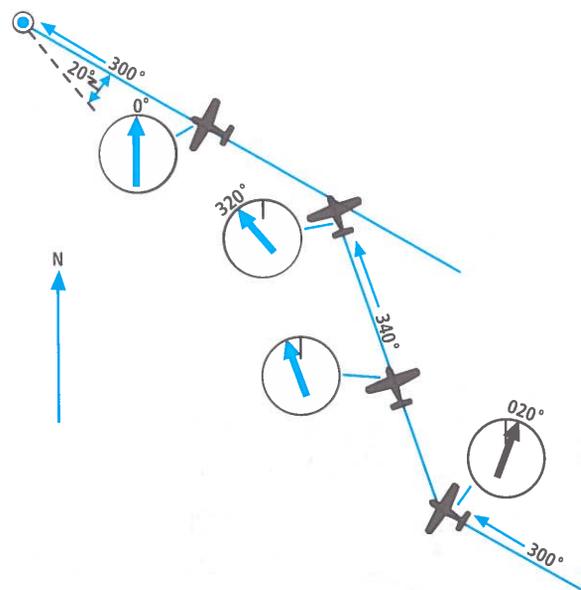


Image 26 – Choisir le cap magnétique pour intercepter une route ADF

Par exemple, la route que le pilote veut intercepter pour rallier le NDB a un relèvement magnétique de 120°. Le cap magnétique choisi par le pilote pour effectuer l'interception est de 050°. L'indicateur de l'ADF devrait indiquer un gisement relatif de 070° lorsque l'avion interceptera la route (relèvement magnétique de 120° moins le cap magnétique de 050° = gisement de 070°).

Lorsqu'il sera sur le point d'intercepter la route, le pilote effectuera un virage jusqu'à ce que l'aiguille de l'indicateur de gisement soit centrée sur 000°, puis il conservera l'aiguille sur 000° pour arriver à la verticale de la station.

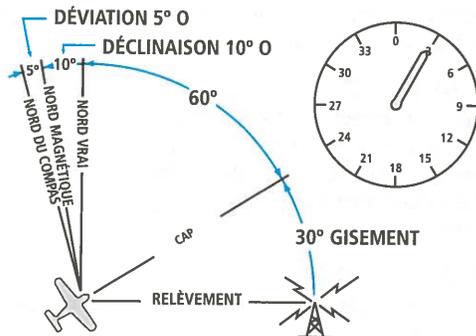


Image 27 – Conversion d'un gisement relatif (sur le limbe) en relèvement géographique

En pratique, il faut accorder une certaine tolérance pour les virages. Le virage destiné à placer l'avion sur la route désirée sera entrepris quelques degrés avant que l'aiguille de l'ADF n'atteigne le gisement requis. Comment le pilote doit-il s'y prendre pour choisir le bon cap à suivre pour intercepter une route ADF? En premier lieu, il doit prendre un cap qui l'établira sur une route parallèle à la route voulue, vérifier l'indicateur de l'ADF et noter de combien de degrés l'aiguille se trouve éloignée du repère 0. L'angle d'interception devrait être du double. Par exemple, supposons que vous vouliez intercepter une route menant vers une station ADF dont le relèvement magnétique en rapprochement est de 300°. Prenez un cap de 300°. Vous notez sur l'indicateur de l'ADF que la station se trouve à votre droite. Le gisement est de 020°. Votre angle d'interception sera donc de 040° et vous suivrez une route magnétique de 340°. Quand l'indicateur de gisement indiquera un gisement de 320°, vous aurez intercepté la route désirée. (Cap magnétique de 340° plus un gisement de 320° = relèvement magnétique de 300° - 340 + 320 = 360). Prenez alors un cap magnétique de 300° et ralliez la station en gardant l'aiguille de l'ADF sur 0.

## Le positionnement à l'ADF

Il est possible de déterminer sa position à l'aide de radiophares sur des installations ADF, tout comme on le fait avec des stations VOR.

Pour obtenir le gisement d'une station NDB ou d'une station de radiodiffusion commerciale en dehors de sa route, on affiche premièrement la fréquence de la station. L'aiguille de l'indicateur indiquera dans quelle direction se trouve la station par rapport au cap ou à l'axe longitudinal de l'avion. Ceci, nous l'avons déjà vu, est le gisement relatif partant de l'avion et allant vers la station.

Le relèvement magnétique de la station représente la somme du cap magnétique de l'avion et du gisement.

Pour tracer une ligne de position sur la carte aéronautique, il faut d'abord convertir le relèvement magnétique de la station en relèvement vrai en appliquant la déviation et la déclinaison.

L'image 27 illustre graphiquement comment convertir un gisement en relèvement vrai ou géographique.

Le gisement de la station à partir de l'avion est de 30°.

Le cap compas de l'avion est de 075°. Par conséquent, le relèvement compas de la station est de 105°.

En appliquant la déviation 5°O et la déclinaison 10°O, on détermine que le relèvement vrai est de 090°.

Le relèvement vrai peut être reporté en tant que ligne de position sur la carte aéronautique. Tracez sur la carte une ligne qui a pour origine la station en utilisant la réciproque du relèvement. Cette ligne représente une ligne de position sur laquelle se trouvait l'avion, en un point quelconque, au moment où le relèvement a été fait.

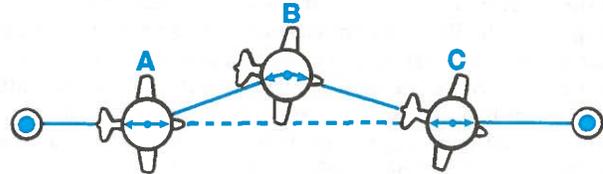


Image 28 – Correction de la dérive – ADF double

1. Le pilote affiche le premier ADF sur la station avant et l'autre ADF sur la station arrière. Les deux aiguilles pointent sur des relèvements réciproques.
2. Le vent déporte l'avion à gauche de la route. Les deux aiguilles ne pointent plus sur des relèvements réciproques.
3. Le pilote change de cap vers la droite jusqu'à ce que les aiguilles soient de nouveau alignées, lui indiquant qu'il a regagné sa route. Pour le reste du vol, le pilote maintient le cap qui lui permet de garder les aiguilles sur des caps réciproques.

Quand deux ou plusieurs relèvements sont pris presque simultanément à partir de plusieurs stations différentes et que l'on trace les lignes de position sur la carte, on obtient par triangulation la position exacte de l'avion (la position de l'avion au moment où les relèvements ont été faits).

Lorsqu'on détermine la position au moyen de deux ou plusieurs lignes de position, l'angle entre les lignes de position ne doit pas être inférieur à 30°.

## L'ADF double

Certains avions sont équipés de radiogoniomètres automatiques (ADF). Avec une installation ADF double, le pilote est en mesure d'effectuer deux relèvements simultanés à partir de deux stations distinctes, ou encore de rallier une station tout en obtenant un gisement continu sur une autre station, ce qui lui permet de connaître sa position en tout temps.

Une installation double peut être utilisée pour la correction de la dérive lors du radioralliement. Ceci s'accomplit en affichant la fréquence d'une station à l'avant sur un récepteur et d'une station à l'arrière sur l'autre récepteur. Le cap est ajusté de manière à garder les deux aiguilles alignées, c'est-à-dire sur des relèvements réciproques (voir image 28).

Une installation double est particulièrement utile au pilote exécutant des circuits d'attente aux instruments au-dessus d'un NDB. On l'utilise aussi pour maintenir une trajectoire d'approche vers la piste.

### 9.5.3 Les erreurs du système ADF

#### L'erreur quadrantale

Le radiogoniomètre automatique (ADF) est affecté par une erreur très semblable à la déviation du compas magnétique. On l'appelle **erreur quadrantale**. Elle est causée par la réfraction, c'est-à-dire la déformation des ondes radio à leur arrivée en raison de la structure métallique de l'avion. L'erreur quadrantale est minimale aux points cardinaux de l'avion (nez, queue, extrémités d'aile) et maximale aux relèvements intermédiaires. La majorité des récepteurs ADF ont été prévus pour qu'on puisse effectuer la correction, du moins partielle, de cette erreur. Pour cela, l'antenne cadre est installée dans un endroit où le facteur correctif intégré dans l'équipement est égal à l'erreur quadrantale causée par l'avion. Il s'agit là d'une tâche longue et difficile, rarement exécutée. On détermine l'erreur quadrantale en effectuant une régulation au sol et en vol. Difficile à exécuter, cette tâche est souvent négligée. Puisque l'erreur est habituellement inférieure à 10° et que le système est précis aux points cardinaux de l'avion, l'erreur quadrantale n'affecte pas notablement le fonctionnement de l'ADF.

#### L'oscillation de l'aiguille

Une légère oscillation de l'aiguille est inhérente au radiogoniomètre automatique (ADF). Elle indique au pilote que l'instrument fonctionne. Par contre, des fluctuations importantes seront possiblement causées par l'un des facteurs suivants :

1. Mauvaise interférence statique.
2. Signal faible. (L'ADF affiche une station trop éloignée ou dont la puissance d'émission est trop faible.)
3. Avion à mi-chemin entre deux stations qui émettent sur la même fréquence.

Quand l'oscillation est importante ou que l'aiguille semble «courir», calculez la moyenne des oscillations et suivez le cap moyen.

#### L'effet de nuit

Les bandes de fréquences radio LF/MF produisent à la fois des ondes d'espace et des ondes de surface. L'ADF réagit aux ondes de surface. La nuit, cependant, les ondes d'espace sont beaucoup plus fortes que le jour, parce que réfléchies davantage par l'ionosphère. Étant donné que les ondes d'espace peuvent arriver de n'importe quelle direction, selon la façon et l'endroit où elles ont été réfléchies, elles occasionnent des erreurs d'indication sur l'instrument. L'indicateur de gisement ADF se déplacera rapidement à mesure que l'onde d'espace change. C'est ce qu'on appelle l'effet de nuit. Plus la station est éloignée, plus l'effet de nuit est prononcé. En deçà d'une distance minimale de la station (variant entre 20 NM et 40 NM), l'effet de nuit disparaît habituellement. Des erreurs beaucoup plus grandes sont possibles en raison de perturbations causées par le lever et le coucher du soleil. Les relèvements pris une heure avant le coucher du soleil et une heure après le lever du soleil peuvent être très imprécis. L'effet de nuit est plus perceptible au-dessus du sol qu'au-dessus de l'eau. C'est pourquoi le radioralliement associé à une station de radiodiffusion commerciale sera davantage affecté que le radioralliement effectué à partir d'un radiophare NDB. Pour minimiser l'effet de nuit, choisissez autant que possible une station de basse fréquence pour les opérations de radioralliement.

#### L'effet de terrain

##### L'EFFET CÔTIER

La trajectoire des ondes radio change de direction lors de leur passage de la terre à la mer. C'est ce qu'on appelle l'effet de côte. Pour cette raison, les relèvements pris sur une station terrestre depuis un avion se trouvant au-dessus de l'eau sont imprécis lorsqu'ils forment un angle inférieur à 30° par rapport à la côte. Aux angles plus grands, la déviation est négligeable. Par conséquent, lorsque vous effectuez des relèvements au-dessus de l'eau, utilisez des stations situées directement sur la côte, comme les stations marines, ou encore des stations qui permettent de prendre des relèvements à des angles supérieurs à 30° par rapport au littoral.

##### L'EFFET DE RELIEF

En terrain montagneux, le signal est réfléchi par les versants. Ainsi, le signal qui parvient à l'antenne cadre ADF peut fort bien ne pas provenir directement de la station. Des relèvements erronés ou incertains seront alors enregistrés sur l'indicateur de gisement ADF.

##### LES DÉPÔTS DE MINÉRAIS

Il arrive parfois que les dépôts de minerais fassent dévier l'aiguille de l'ADF.

#### La glace et la neige fondante

Une accumulation de glace ou de neige fondante sur les antennes tend à causer des lectures d'aiguille ADF erronées et aussi à affaiblir la puissance des signaux.

#### Les parasites atmosphériques

Les parasites se rencontrent parfois sur les bandes LF/MF au cours des vols dans la pluie abondante ou la neige. Ces parasites pourront s'avérer suffisamment importants pour gêner le bon fonctionnement de l'aiguille qui pointera alors dans la mauvaise direction. La réception du signal sonore risque d'être tellement mauvaise qu'il sera impossible d'identifier la station.

On atténuera les effets nuisibles des parasites en réduisant la vitesse de l'avion.

Les orages renferment une grande quantité d'électricité statique; ils gênent donc les ondes radio LF/MF et occasionnent des lectures erronées sur l'ADF.

### 9.5.4 L'indicateur radiomagnétique (RMI)

L'indicateur radiomagnétique (RMI) est un instrument qui cumule simultanément deux fonctions :

- la fonction directionnelle d'un conservateur de cap (ou gyro directionnel) et
- celle d'un indicateur pointant vers une aide à la navigation quelconque sélectionnée au préalable (en d'autres mots, un indicateur de gisement).

L'apparition de l'indicateur radiomagnétique n'est en fait qu'une conséquence naturelle de l'avènement de l'ADF. Il s'agit d'un instrument très utile qui allège la tâche du pilote.



Image 29 – Indicateur radiomagnétique (RMI)

Le limbe mobile du RMI est asservi à un compas magnétique installé à distance. Ainsi, le cap magnétique de l'avion (cap par rapport au nord magnétique) est toujours affiché vis-à-vis le repère situé à la position 12 heures sur la face de l'instrument. Un système asservi ne souffre pas de précession; il ne requiert donc aucun ajustement périodique contrairement à l'indicateur gyro directionnel. Les aiguilles de l'indicateur de gisement RMI pointent toujours en direction de l'aide à la navigation. Par conséquent, elles affichent le relèvement magnétique vers la station.

La plupart des indicateurs radiomagnétiques possèdent deux aiguilles, l'une reliée au récepteur ADF et l'autre répondant à des signaux provenant du récepteur VOR. Chaque aiguille pointe en direction de la station affichée sur leur récepteur respectif. Habituellement, l'information ADF est affichée sur l'aiguille comportant deux barres parallèles et l'information VOR sur l'aiguille à une seule barre. La tête de l'aiguille jumelée au VOR indique la radiale en rapprochement de la station, alors que la queue indique la radiale en éloignement. (L'aiguille VOR du RMI ne représente pas la position de l'avion par rapport à une radiale quelconque, quel que soit le cap de l'avion, comme c'est le cas de la CDI. Elle ne fait que pointer vers la station, exactement comme le fait l'aiguille ADF du RMI qui pointe vers un radiophare L/MF.

Sur le RMI de l'image 29, l'avion suit un cap magnétique de 324°. Un NDB (ou autre installation LF/MF) se trouve au bout de l'aile gauche (à bâbord), à un relèvement magnétique de 290°. Un VOR se trouve au bout de l'aile droite (à tribord), à un relèvement magnétique de 012°. Tant que l'avion reste sur sa route actuelle, l'aiguille de l'ADF se déplacera continuellement dans le sens antihoraire à mesure que l'avion progresse par le travers de la station. Quant à l'aiguille du VOR, elle se déplacera dans le sens horaire à mesure que l'avion progresse par le travers de cette station. (Dans les deux cas, le mouvement de l'aiguille ralentira à l'approche de la position 6 heures et s'arrêtera avant d'y arriver, parce que ni l'une ni l'autre des deux stations ne se trouvera jamais directement derrière l'avion, mais légèrement à bâbord ou à tribord respectivement.) Si le pilote désire intercepter la radiale 040° en rapprochement du VOR, il continuera sur sa route (324°) jusqu'à ce que la tête de l'aiguille VOR pointe vers 040° sur le limbe, puis il virera à tribord (du côté de l'aiguille) en empruntant ce cap. L'aiguille simple (une seule barre) pointera alors directement vers le haut, c.-à-d. directement vers la station VOR qui se trouve droit devant. L'aiguille double continuera de réagir au signal ADF originant de l'installation LF/MF qui se trouve dorénavant sur l'arrière de l'avion.

La plus récente génération de RMI comprend un commutateur qui permet au pilote de choisir quelle aiguille sera associée au VOR et quelle aiguille à l'ADF. En plus d'assurer le

fonctionnement simultané de l'instrument sur une station VOR et une station LF/MF, le pilote a aussi l'option de sélectionner deux stations VOR différentes ou deux stations LF/MF différentes. (Bien entendu, l'avion doit être équipé de deux récepteurs VOR et de deux récepteurs ADF pour tirer pleinement avantage de cette option.)

Le principal avantage du RMI est d'offrir instantanément, sur un seul instrument, l'information sur les relèvements magnétiques vers des aides à la navigation. Le pilote est relevé de l'obligation de calculer mentalement les gisements et les relèvements magnétiques. En outre, les deux aiguilles fournissent simultanément les relèvements de deux stations différentes, donnant ainsi au pilote des lignes de position qui lui permettront de déterminer continuellement et avec précision la position de son avion à partir de stations localisées à la gauche ou à la droite de l'avion. L'option VOR de l'instrument libère le pilote de l'obligation de déterminer sur quelle radiale il se trouve en faisant tourner l'indicateur d'azimut jusqu'à ce que l'aiguille soit centrée. Le RMI montre continuellement l'emplacement relatif d'une station VOR, de la même manière que pour une station ADF. Cette information servira éventuellement à identifier une intersection VOR. Le RMI avertit de l'approche d'une interception bien avant l'indicateur d'écart de route conventionnel. Pour se rendre directement au VOR, il suffit de lire le relèvement magnétique vers la station vis-à-vis la tête de l'aiguille VOR et de virer sur ce cap.

## 9.6 L'équipement de mesure de distance (DME)

Le DME (équipement de mesure de distance) est un émetteur/récepteur électronique qui donne au pilote une lecture constante de la distance qui le sépare d'une station fixe au sol. Le DME accomplit ceci en calculant le temps que prendra un signal émis pour effectuer un aller-retour à la station au sol. Puisque les ondes radio voyagent à une vitesse constante connue, il est facile de convertir la durée du voyage en distance. La station au sol interrogée par le DME en ce qui concerne les données de distance est un VORTAC ou un TACAN émettant un signal radar sur UHF.

L'équipement de bord émet des impulsions à l'intention d'une station au sol. En fait, l'équipement pose tout simplement la question : «À quelle distance suis-je de votre station?» Chaque interrogation provenant d'un aéronef particulier possède une configuration ou un taux de transmission unique que la station au sol reproduit au moment de répondre et cela, même si la fréquence de la station en question dessert tous les aéronefs qui affichent cette fréquence. Le récepteur DME de bord opère le tri des impulsions de réponse qui lui sont destinées (c.-à-d. dont les caractéristiques sont identiques à celles émises à l'origine), mesure électroniquement l'intervalle de temps entre sa propre émission et la réception de la réponse, et convertit le temps écoulé en distance. Cette distance est continuellement affichée sur le tableau de bord; elle représente la **distance oblique** entre l'avion et la station. La distance augmente lorsque l'avion s'éloigne de la station, et elle diminue lorsqu'il s'en approche.

On convertit la distance oblique en distance au sol à l'aide de la formule suivante :

Lorsque la **distance oblique** est égale à plus du double de l'altitude, la différence entre la distance oblique et la distance au sol est négligeable. En revanche, quand l'avion se trouve

à proximité de la station, mais à haute altitude, la différence entre la distance oblique et la distance au sol est appréciable. Dans ce cas, le pilote est obligé d'utiliser la formule ci-dessus pour déterminer sa distance réelle par rapport à la station, à moins que son DME ne renferme un dispositif qui lui permette de convertir automatiquement la distance oblique en distance horizontale.

En pratique, on considère les lectures du DME précises quand l'avion se trouve à plus de 5 mi de la station. À moins de 5 mi, la distance oblique doit être prise en considération. Quand l'avion se trouve exactement à la verticale d'un VORTAC, le DME affiche l'altitude au-dessus de la station en NM.

Les unités DME peuvent aussi donner la vitesse-sol et le temps à la station.

Le DME illustré à l'image 30 est typique des unités aéroportées. Il possède une capacité de 200 canaux et un affichage numérique lumineux. Il offre deux modes d'affichage. Le premier permet l'affichage simultané de la distance à la station, de la vitesse-sol et du temps à la station, et le deuxième, de la distance à la station et de la fréquence. La fréquence peut être sélectionnée directement sur l'instrument ou à distance depuis un récepteur VOR.

Toutes les distances DME sont en NM et les vitesses-sol en kt.

Cependant, la vitesse-sol DME n'est précise que si l'avion se rapproche ou s'éloigne directement du VORTAC. Quand l'avion passe à côté de la station, la vitesse-sol DME n'a aucun sens, en raison du principe de base que le DME utilise pour effectuer ses calculs. Une lecture incorrecte sera également affichée quand l'avion passe directement à la verticale de la station. L'indicateur de vitesse-sol affichera «0» durant la période où l'avion se trouve au-dessus du VORTAC.

Le module vitesse-sol du DME est particulièrement utile, car il permet au pilote de choisir l'altitude où se trouvent les vents les plus favorables. En volant à plusieurs altitudes différentes et en observant attentivement la vitesse-sol sur l'affichage du DME, le pilote peut déterminer à quelle altitude la vitesse-sol est la plus élevée, confirmant la présence des vents les plus favorables.

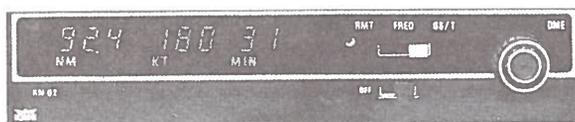


Image 30 – Récepteur DME

Le DME sert également à effectuer des approches orbitales (ou arquées) vers un aéroport. L'arc DME représente une trajectoire dont la distance (calculée par le DME) est constante autour d'une aide à la navigation capable de fournir une indication de distance, par exemple un VORTAC. Quand le VORTAC est situé à quelques milles (ex. 5 mi) d'un aéroport, le pilote pourra amener son avion directement au-dessus de l'aéroport, en gardant un affichage de distance constant sur son DME (dans notre exemple, 5 mi). On peut déterminer l'emplacement exact de l'aéroport en utilisant le VOR conjointement avec le DME. L'aéroport se trouve sur une radiale quelconque du VORTAC, à l'intersection formée par cette radiale et l'arc DME.

Le DME fonctionne sur la plage des fréquences UHF comprises entre 960 MHz et 1215 MHz; la transmission s'effectue sur les fréquences comprises entre 960 MHz et 1024 MHz, ainsi qu'entre 1151 MHz et 1215 MHz, alors que la réception occupe les fréquences comprises entre 1025 MHz et 1150 MHz.

Le DME est habituellement jumelé avec des installations VOR (VOR/DME). Il peut également être jumelé avec un ILS ou des radiophares d'alignement de piste pour l'exécution d'approches LOC/LDA. Il est parfois jumelé avec des NDB en route pour une navigation plus précise. Les canaux DME sont jumelés à des canaux VOR, NDB ou des radiophares d'alignement de piste, de sorte que lorsque vous affichez une fréquence VOR sur votre DME, vous obtenez automatiquement la fréquence UHF voulue. Les canaux du sélecteur DME sont identifiés par les fréquences VOR qui leur sont associées, même si le sélecteur contrôle en fait des canaux DME qui occupent une plage de fréquences MHz UHF. Une fréquence DME requérant une seule décimale (ex. 110,3 MHz) est connue sous le nom de canal X; une autre requérant deux décimales (ex. 112,45 MHz) est connue sous le nom de canal Y.

Les installations militaires TACAN peuvent également servir à l'obtention des mesures de distance. Les stations TACAN sont désignées sur les cartes de navigation par des canaux numérotés de 1 à 126. Le tableau de l'image 31 indique comment convertir un canal TACAN en MHz sur la bande des VOR.

MHz	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
108	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
109	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
110	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
111	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
112	57	58	59	70	71	72	73	74	75	76
113	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
114	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
115	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
116	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
117	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126

Image 31 – Table des canaux TACAN et VHF.  
Exemple : Canal TACAN 80 jumelé à la fréquence 113,3 MHz

Rappelez-vous, toutefois, que seule l'information relative à la distance fournie par le TACAN est valide. Toute information apparente concernant l'azimut (sous forme de radiales), obtenue par l'intermédiaire d'un récepteur VOR couplé, doit être considérée fautive, puisque la nature d'une installation TACAN est telle que seul un appareil TACAN spécial est capable de recevoir l'information d'azimut.

L'équipement DME est considéré fiable jusqu'à une distance de 200 NM de la station. Cependant, certaines unités limitent l'affichage des distances à un maximum d'environ 170 milles. On le considère juste en deçà de 2%. Puisque la réception UHF est tributaire de la portée optique, l'altitude est un facteur important dans l'efficacité de l'appareil. Plus l'altitude est élevée, plus la portée effective est grande.

## 9.7 Le directeur de vol (FD)

Le directeur de vol (FD) est un système très sophistiqué qui rassemble électroniquement l'information fournie par plusieurs instruments, introduit cette information dans un ordinateur et l'expose sur deux affichages visuels.



Haut : Indicateur directeur d'assiette (ADI)

Bas : Indicateur de situation horizontale (HSI)

Image 32 - Directeur de vol (FD)

Les deux instruments qui fournissent l'affichage visuel sont l'indicateur de situation horizontale (HSI) et l'indicateur directeur d'assiette (ADI). Habituellement, le système directeur de vol est couplé au système de pilotage automatique. Le groupe complet porte alors le nom de **circuit de commandes de vol**. Différents fabricants désignent les composantes de leurs systèmes différemment. Le HSI est quelquefois appelé **PNI (indicateur de navigation pictorial)** et l'ADI, **indicateur de commandes de vol**.

Nous avons déjà étudié le HSI assez en détail, à la section 9.1.10 - L'indicateur de situation horizontale (HSI). Le HSI illustré à l'image 32 possède deux caractéristiques de plus qu'un HSI conventionnel. Il affiche la radiale VOR choisie et la distance DME à la station. L'ADI ressemble quelque peu à un indicateur d'assiette (horizon artificiel), mais il est beaucoup plus sophistiqué. Il comprend un affichage de commandes surimposé à un horizon artificiel. L'ADI est d'une valeur inestimable dans l'exécution d'approches aux instruments d'une grande précision. L'ADI peut utiliser un indicateur en croix ou une barre en V (V-bar) pour l'affichage des commandes. L'image 33 démontre un affichage avec indicateur en croix. Dans cet exemple, il indique que l'avion se trouve à la droite de l'alignement de piste et en dessous de la pente d'approche. Le pilote doit donc corriger vers la gauche et monter pour ramener l'indicateur sur l'avion-symbole fixe. (La ligne pointillée de l'image 33 représente l'horizon.)

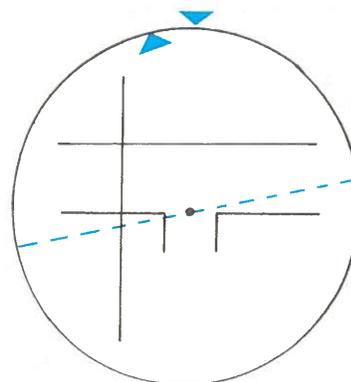


Image 33 - Indicateur en croix de l'ADI

Parce que les ordinateurs possèdent la capacité d'emmagasiner et de traiter une quantité virtuellement illimitée de données, certains fabricants affichent le plus de renseignements possibles sur l'ADI. La majorité de ces renseignements additionnels est affichée sur la périphérie de l'instrument. On pourra inclure une bille pour indiquer les dérapages ou les glissades, un indicateur d'angle d'attaque, une aiguille d'alignement de descente, un affichage radioaltimètre et un indicateur de hauteur de décision. L'ADI illustré à l'image 32 possède plusieurs de ces caractéristiques additionnelles.

Lorsque l'ensemble directeur de vol est jumelé à un système de pilote automatique, l'information issue de l'ordinateur est acheminée directement au pilote automatique qui exécute les corrections nécessaires en vol.

En plus d'émettre des commandes pour les approches aux instruments, le directeur de vol peut intercepter une radiale en rapprochement d'un VOR ou d'un ILS, donner des instructions de tangage en cas d'approche interrompue, au décollage, en montée et lors des virages de précision, diriger le pilote au cours d'une approche en alignement arrière, guider lors des virages conventionnels et, lorsqu'en mode RNAV, adopter et suivre une route en direction d'un point de cheminement. Les altitudes, les routes et les approches sont sélectionnées en appuyant sur un bouton qui alimente l'information nécessaire à l'accomplissement des tâches du directeur de vol.

### 9.7.1 Le pilote automatique

Les systèmes de pilote automatique fonctionnent en vertu du principe de la rigidité gyroscopique dans l'espace. Le système comprend deux gyroscopes pour contrôler les axes longitudinaux, latéraux et verticaux en vol. Lorsque l'aéronef s'écarte de l'assiette programmée, l'ordinateur du système détecte l'écart et émet les commandes appropriées aux **servomoteurs** (ou **servocommandes**) qui entraînent le déplacement des commandes primaires de vol de façon à ce que l'aéronef reprenne l'assiette de vol voulue. C'est ce qui s'appelle une **réponse aérodynamique**.

Différents systèmes de pilote automatique offrent une grande variété de fonctions. Un pilote automatique simple pourra contrôler uniquement le gouvernail de direction pour permettre le maintien précis des caps. Des systèmes plus complexes offriront davantage d'options. Par exemple, un système qui contrôle le roulis assumera non seulement le maintien des ailes au niveau, mais également celui d'un cap précis et d'une trajectoire radio déterminée. Les fonctions de tangage incluront le maintien d'une certaine assiette de tangage, d'une certaine vitesse verticale ou d'une trajectoire de descente ILS. Les systèmes de pilote automatique réagiront aux variations du c.g. et cesseront de fonctionner automatiquement advenant une défaillance.

En outre, ils effectueront en douceur les virages, les montées et les descentes.

La technologie moderne permet de relier entre eux les ordinateurs du pilote automatique et du directeur de vol. Le pilote automatique contrôle l'avion. Le directeur de vol supervise les activités du pilote automatique.

### 9.7.2 Le dispositif avertisseur de proximité du sol (GPWS)

Le **dispositif avertisseur de proximité du sol** ou **avertisseur de proximité du sol (GPWS)** avertit les membres de l'équipe de pilotage de l'existence d'une situation dangereuse due à la proximité du terrain.

Le système est activé lorsque le taux de descente de l'aéronef est trop fort ou lorsque le taux de rapprochement entre l'aéronef et le sol est excessif en raison d'un terrain en pente. Le système émet un signal sonore et déclenche des voyants lumineux sur le tableau de bord.

Il avertit également de la proximité du sol au moment du décollage et de l'atterrissage. Il est programmé de façon à fournir des avertissements lorsque les taux de rapprochement entre l'aéronef et la surface dépassent les valeurs au-dessus du seuil préprogrammées. Il reconnaît la position des volets et du train d'atterrissage et prévient à l'aide d'un signal sonore lorsqu'ils ne sont pas dans la position requise pour l'atterrissage. Il avertit des écarts trop grands en dessous de la pente d'approche d'un alignement ILS avant.

Pour fonctionner correctement, le système requiert des données sur la vitesse de vol, l'altitude barométrique, l'altitude radio et les écarts par rapport à la pente d'approche.

## 9.8 La navigation de surface

Les systèmes de navigation de surface, comme le RNAV, l'INS, le GPS et le LORAN C, sont inestimables en ce qu'ils permettent de voler vers des destinations qui ne sont desservies par aucune aide à la navigation et de repérer des aéroports lorsque la météo est marginale. Ils permettent d'effectuer des vols-voyages sur des distances considérables en ligne droite. La navigation de surface améliore considérablement la flexibilité du contrôle de la circulation aérienne, fournissant un répit aux problèmes d'engorgement et allégeant la charge de travail des contrôleurs aériens. En permettant au pilote de choisir une route à l'écart des zones achalandées, ils favorisent la sécurité et la réduction du trafic à proximité des aides à la navigation. Ils permettent en outre l'établissement de plusieurs routes parallèles entre les centres principaux et la séparation du trafic sur la base de la vitesse. La navigation directe entre deux points réduit les temps de vol en raccourcissant les distances.

### 9.8.1 Le RNAV

En relevant le pilote de l'obligation de se rendre directement à une installation de radionavigation ou de s'en éloigner directement, le RNAV a accordé aux aéronefs une plus grande liberté latérale et, en même temps, permis une utilisation plus complète de l'espace aérien.

Résultats? Les distances de vol sont raccourcies, le trafic est moins dense et la circulation dans les régions terminales s'en trouve accélérée. En outre, il est possible d'effectuer, moyennant certaines restrictions, des approches aux instruments aux aéroports dépourvus d'un système d'atterrissage aux instruments.

Grâce au système RNAV, il est possible d'effectuer une navigation précise à l'écart des voies aériennes tout en utilisant les installations VORTAC existantes. Le RNAV permet au pilote de voler à partir d'un point quelconque situé à l'intérieur de la zone couverte par un VORTAC pour se rendre directement à un autre point à l'intérieur de la même zone, tout en connaissant en tout temps sa position exacte et le temps nécessaire pour arriver à destination. Aucune aide à la navigation n'est requise, ni au départ, ni à la destination, pour utiliser ce système de navigation «en ligne droite». Le pilote n'est plus obligé de suivre une route le menant d'abord à un VORTAC, de le survoler, puis de s'éloigner sur une autre route avant de parvenir à destination.

Un système RNAV typique est illustré à l'image 34. Cet instrument est l'ordinateur du système. En plus, l'avion doit être équipé d'un récepteur VHF NAV, d'un DME et d'une unité d'affichage NAV, comme un indicateur VOR conventionnel pourvu du mode RNAV ou un HSI. Le récepteur VHF NAV fournit à l'ordinateur RNAV l'information VOR nécessaire à l'établissement d'un point de cheminement sur la radiale d'un VORTAC quelconque. Le DME fournit l'information relative à la distance pour que le RNAV puisse calculer la distance depuis le VORTAC jusqu'au point de cheminement. Muni de ces renseignements, le RNAV calcule la position de l'avion par rapport au point de cheminement. Le HSI indique la route à suivre pour atteindre le point de cheminement et le DME affiche la nouvelle distance vers le point de cheminement.

Avec un système RNAV typique, le pilote peut programmer à l'avance les points de cheminement qu'il utilisera au cours d'un vol. Pour créer un point de cheminement, il suffit d'entrer dans l'ordinateur du RNAV la radiale du VORTAC et la distance à partir du VORTAC de l'emplacement choisi comme point de cheminement. Durant le vol, le pilote rappelle le point de cheminement voulu. Toute l'information relative à celui-ci, emmagasinée préalablement dans la mémoire de l'ordinateur, apparaît sur les affichages digitaux. Le récepteur NAV réglé à distance et le DME seront réglés automatiquement sur la nouvelle fréquence VORTAC. Le HSI (ou OBS) indiquera la position relative de l'avion par rapport au point de cheminement. L'affichage DME montrera la distance de l'avion par rapport au point de cheminement.

En fait, le système RNAV crée une station VORTAC imaginaire au point de cheminement. Le HSI réagit aux radiales originant de ce VORTAC imaginaire. Le DME calcule la distance jusqu'à celui-ci.

Quand le HSI (ou OBS) fonctionne en mode RNAV, la déviation de l'aiguille de route (CDI), dont le rôle est d'indiquer l'erreur d'écart de route, est donnée en NM plutôt qu'en degrés. Chaque point correspond à un écart de 1/2 mi.

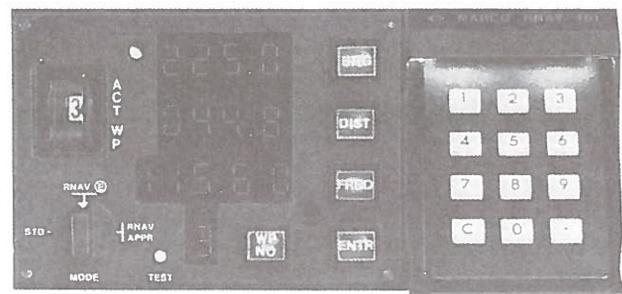


Image 34 – Système de navigation de surface (RNAV)

Chez la plupart des fabricants, ce type de système de navigation de surface est le **RNAV**, ou **procédures LNAV/baro-VNAV**.

## 9.8.2 Le système de navigation par inertie (INS)

Le système de navigation par inertie (INS) est entièrement autonome. Il ne dépend en aucune façon d'aides à la navigation basées au sol. Une fois l'information relative à la position initiale chargée dans le système, celui-ci peut, grâce à un ordinateur, à des gyroscopes de précision et à des accéléromètres sensibles, procéder à la mise à jour constante d'affichages rigoureusement exacts donnant la position, la vitesse-sol, l'assiette et le cap. Il fournit également les renseignements concernant le guidage et le contrôle directionnel au pilote automatique et aux instruments de vol. Il est capable de calculer la route de vol et la distance entre deux points et, en vol, la distance parcourue à l'écart de cette route. L'équipement de bord utilise la pression barométrique pour déterminer la portée oblique DME.

La vitesse et la distance sont calculées à partir des accélérations détectées. Deux accéléromètres, stabilisés de manière gyroscopique, sont montés sur un système de cardans appelé communément une plate-forme. L'un mesure les accélérations détectées sur un axe orienté nord-sud et l'autre, sur un axe orienté est-ouest. La plate-forme stabilisée sur laquelle les deux accéléromètres sont installés est maintenue à l'horizontale par rapport à la surface de la terre (plutôt que rigide dans l'espace) grâce à un mécanisme de compensation qui tient compte de la rotation de la terre et de sa forme arrondie. L'ordinateur, qui connaît la latitude et la longitude du point de décollage, convertit l'information fournie par les accéléromètres en position réelle.

La précision de l'INS dépend de l'exactitude de l'information concernant la position initiale. Par conséquent, l'alignement du système au début du vol revêt une grande importance. Les accéléromètres doivent être mis au niveau et le système orienté par rapport au nord vrai.

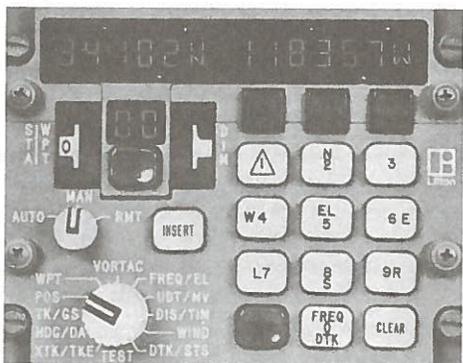


Image 35 – Système de navigation par inertie (INS)

Certains systèmes combinent un INS et un RNAV complet (VOR et DME) en un seul système. Un tel système peut ainsi servir d'aide en région terminale, en plus d'aide à la navigation en route sur des distances prolongées. Une unité d'affichage de commandes, telle que celle illustrée à l'image 35, affiche les données de navigation générées par le système. Les données sur les points de cheminement et les stations sont chargées dans l'ordinateur au moyen de cartes encodées optiquement. Les données sur la position initiale, neuf points de cheminement et neuf positions de stations, de même que leurs fréquences, leurs élévations et leurs déclinaisons magnétiques peuvent être emmagasinées en même temps dans l'ordinateur.

Les systèmes de navigation par inertie les plus récents ont remplacé les gyroscopes de précision par des détecteurs au laser qui mesurent les mouvements de l'aéronef par rapport

aux trois axes, c.-à-d. tangage, roulis et lacet. Même s'ils ne sont pas plus précis que les gyroscopes conventionnels, les lasers ont, en revanche, une durée d'utilisation beaucoup plus longue entre les révisions, (TMEP - temps moyen entre panne, ex. 10 000 heures comparativement à 2500 heures) parce qu'ils n'ont pas de pièces mobiles. Souvent, le système au laser fournit les données directement au système de gestion de vol de l'avion. En vertu de cette application, le laser prend le nom de **système de référence inertiel (SRI)**.

## 9.8.3 Le système mondial de navigation par satellite (GNSS)

L'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a reconnu qu'un **système mondial de navigation par satellite (GNSS)** répondra aux besoins de la navigation aérienne pour bien des années à venir. Un GNSS complet peut comprendre les satellites appartenant à divers pays ou groupes commerciaux, aussi bien que les systèmes terrestres destinés à compléter et à surveiller les satellites. Tel que mentionné, voir 8.1.5 – **Les communications par liaison de transmission**, il existe plusieurs systèmes de navigation par satellite dans le monde :

- le GPS (américain sous la responsabilité de la Garde côtière américaine),
- le GLONASS (Russie),
- le GAUGAN (Inde),
- le GALILEO (Europe),
- le COMPASS (Chine),
- etc.

L'OACI est chargée de surveiller et de coordonner le développement d'un système de gestion mondial destiné à fournir des solutions économiques au système **CNS (communications, navigation et surveillance)** ainsi qu'à celui de la **gestion du trafic aérien (ATM)**.

Le **système mondial de navigation par satellite (GNSS)** fournit un service de haute intégrité et de haute précision, capable de soutenir entièrement toutes les activités terminales, de navigation en route et d'approches de non précision.

L'OACI a mis au point le concept de **surveillance dépendante automatique (ADS)**. Grâce à l'ADS, un aéronef transmet automatiquement sa position et d'autres données pertinentes au centre de contrôle de la circulation aérienne par l'entremise de liaisons par satellites. La position de l'aéronef est affichée sur un écran semblable à celui des radars contemporains. Ce service est destiné principalement aux activités dans les environnements océaniques, les régions éloignées et les zones où l'utilisation des radars primaires et secondaires n'est pas souhaitable.

## Le système mondial de localisation (GPS)

Le **système mondial de localisation (GPS)**, (ou **système mondial de positionnement**, ou **système de positionnement global**), sous la responsabilité de la Garde côtière américaine a été conçu par le département de la Défense des États-Unis pour assurer un service mondial de navigation très précis. Le GPS repose sur une constellation de 24 satellites en orbite à une altitude de 11 000 NM au-dessus de la terre. Chaque satellite rayonne son signal sur la moitié de la terre. Le système utilise une technologie qui procure un positionnement tridimensionnel très précis partout dans le monde, 24 hr/jr, et une marge d'erreur de 100 m en 3D environ.

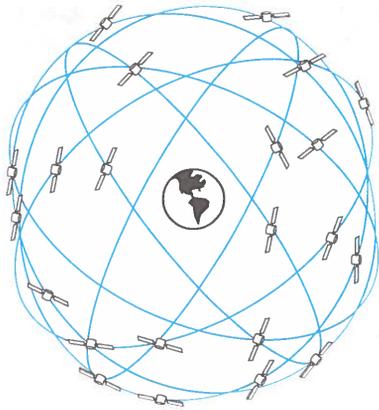


Image 36 – Orbites des satellites GPS

Le GPS repose sur la portée des satellites. La position au sol est calculée à partir d'un groupe de satellites dans l'espace. Le système GPS fonctionne en calculant le temps que met un signal radio issu d'un satellite à arriver au récepteur. Puisque les ondes radio voyagent à une vitesse constante (la vitesse de la lumière, c.-à-d. 186 000 mi/sec), la distance calculée est une fonction de temps.

Les satellites et les récepteurs GPS génèrent simultanément un ensemble de codes digitaux très complexes, les «codes pseudo-fortuits». Chaque récepteur GPS individuel utilise les données éphémérides transmises par le satellite pour calculer la différence de temps à la réception du code en provenance du satellite et emploie ces renseignements temps/distance pour déterminer la latitude, la longitude, l'altitude et la vitesse-sol.

Afin d'atteindre le degré de précision que le système exige, des horloges très précises sont requises. Les satellites utilisent des horloges atomiques, la référence de temps la plus stable et la plus précise devisée à ce jour. Les horloges des récepteurs doivent être également très précises sans être obligatoirement parfaites. En prenant des lectures sur au moins quatre satellites et en employant une méthode connue sous le nom de triangulation, les erreurs de l'horloge du récepteur s'annulent.

Les satellites GPS sont sous la surveillance constante du Département de la Défense des États-Unis. Le système de surveillance et de contrôle au sol évalue la performance des satellites en orbite autour de la terre toutes les 12 heures.

Les **erreurs éphémérides** sont détectées et des corrections sont envoyées au satellite si nécessaire. Ces erreurs sont habituellement très mineures et sont causées par les forces d'attraction de la lune et du soleil, de même que par la pression exercée par le rayonnement solaire sur le satellite. En plus de son code pseudo-fortuit, chaque satellite GPS envoie également des messages concernant ces erreurs mineures.

Il existe plusieurs sources d'erreurs dans le système GPS. L'ionosphère et la vapeur d'eau présentent dans l'atmosphère peuvent affecter la vitesse des signaux. Les particules chargées d'électricité qui composent l'ionosphère ralentissent les signaux à un taux inversement proportionnel à sa fréquence au carré. Plus la fréquence du signal est basse, plus le signal est freiné. Des récepteurs GPS très sophistiqués sont capables d'éliminer ce genre d'erreurs. Toutefois, même en l'absence de corrections émanant d'un récepteur, ces erreurs sont négligeables et occasionneront au pire une erreur de positionnement de quelques mètres seulement.

Les récepteurs font parfois des erreurs en arrondissant les opérations mathématiques. Ce type de problème générera une marge d'erreur de quelques pieds dans toutes les mesures.

Une autre erreur porte le nom d'**erreur de multitrajets**. Le signal émis par le satellite rebondit, empruntant ainsi une route indirecte avant d'arriver au récepteur. Des antennes spéciales minimisent le problème, mais dans certains cas sévères, une certaine incertitude pourra être introduite dans les mesures.

Toutes ces erreurs, même regroupées, affectent la précision des calculs de positionnement d'au plus 25 m à 50 m. Les calculs de triangulation peuvent amplifier ou amoindrir ces incertitudes selon l'angle relatif des satellites dans l'espace. Plus l'angle entre les satellites est grand, plus la mesure sera précise. Un bon récepteur GPS tiendra compte de ce simple principe géométrique qui porte le nom d'**affaiblissement géométrique de la précision (GDOP)**; il analysera la position relative de tous les satellites disponibles et choisira les quatre meilleurs.

Les satellites diffusent deux formes distinctes de codes pseudo-fortuits sur les fréquences 1227,6 MHz et 1575,42 MHz. Le **code P**, qui fournit un **service de positionnement précis (SPP)**, ne sera accessible qu'aux militaires américains, assurant ainsi au Département de la Défense des États-Unis une certaine exclusivité. Le **code C/A**, qui fournit un **service de localisation standard (SPS)**, est utilisé pour les récepteurs civils. Les signaux SPS sont dégradés selon la technique de la **disponibilité sélective (SA)**, qui a été conçue pour empêcher les forces militaires ennemies d'avoir accès aux signaux de haute précision en créant artificiellement une erreur d'horloge significative. Même dans le cas du SA (accès sélectif), la précision dans le plan horizontal se situera en deçà de 100 mètres, satisfaisante pour les phases en route et d'approche de non-précision.

La précision du système peut être améliorée grâce à une technique appelée le **GPS différentiel (DGPS)**. Un récepteur GPS localisé au sol en un endroit connu sert de référence statique. Il mesure les distances par rapport aux satellites, calcule les corrections de manière à agencer la position GPS et la position réelle, et émet un message de correction d'erreur à tous les récepteurs GPS se trouvant dans la région. Ces derniers utilisent à leur tour ce message d'erreur pour éliminer virtuellement toute erreur dans leurs propres mesures. Les mesures GPS différentielles sont par conséquent beaucoup plus précises que les mesures GPS standards.

Le **GPS différentiel à couverture locale (LADGPS)** est limitée aux communications à portée optique entre stations différentielles et requiert des centaines de stations au sol. Le **GPS différentiel sur grande superficie (WADGPS)** n'est pas limitée à la portée optique mais souffre de dégradation en raison de la transmission du signal à travers l'ionosphère. Elle nécessite cependant moins de stations terrestres.

L'intégrité du système GPS est compromise du fait que les satellites GPS ne préviennent pas assez rapidement les usagers lorsque le système fournit des signaux erronés. Certains récepteurs assurent cette intégrité grâce au **contrôle autonome de l'intégrité par le récepteur (RAIM)**. Le système RAIM calcule la position de l'aéronef en employant différents groupes de satellites, en comparant les positions et en avertissant le pilote des écarts éventuels. Afin que le récepteur GPS reçoive suffisamment de renseignements pour détecter un satellite défectueux, il faut qu'au moins six satellites soient à portée optique du récepteur.

L'équipement GPS destiné aux applications IFR doit répondre à certaines normes (TSO C-129), l'une de ces normes étant la disponibilité du RAIM.

Les meilleurs récepteurs GPS peuvent pister simultanément quatre satellites ou davantage, en plus d'afficher instantanément la position et la vitesse. Ils peuvent également minimiser

le problème de dilution géométrique (GDOP) en pistant tous les satellites en vue. Les récepteurs à canaux simples ou doubles à capacité séquentielle peuvent obtenir des mesures relativement précises mais ils sont plus lents dans le calcul de la position et de la vitesse. Un récepteur à canal simple va d'un satellite au suivant pour ramasser les données. Ces interruptions séquentielles peuvent limiter sa capacité à fournir une position continue avec précision. Un récepteur à canaux doubles est plus flexible, il n'est pas obligé d'interrompre ses fonctions de navigation pour recevoir les signaux des satellites et il fournit des mesures de vitesse plus précises; il n'est cependant pas capable d'éliminer le problème de dilution géométrique de la précision (GDOP).

Le GPS permet aux avions d'exécuter des approches arquées vers les aéroports, d'emprunter des routes plus efficaces et d'obtenir des renseignements sur leur position n'importe où dans le monde. Ces avantages sont particulièrement évidents dans les régions océaniques.

### Le système de renforcement à couverture étendue (WAAS)

Le WAAS (système de renforcement à couverture étendue) permet au GPS de servir toutes les phases de vol, du décollage à l'approche aux instruments de Catégorie I. Contrairement aux autres systèmes de navigation au sol traditionnels, le système WAAS couvre une zone de service plus étendue avec des stations de référence au sol reliées à un réseau WAAS. Les signaux GPS sont captés par ses stations de référence au sol qui enregistrent les erreurs dans les signaux. Chaque station du réseau renvoie à une station principale où les corrections de déviation sont enregistrées. Le message est ensuite diffusé sur la même fréquence GPS aux récepteurs GPS/WAAS à bord de l'avion qui vole à l'intérieur de la zone de couverture du WAAS. Le message diffusé par le WAAS augmente la précision du signal GPS qui est de 100 m à plus ou moins 7 m. L'installation dans le monde entier de ces systèmes d'aide à la navigation procure les mêmes services que ceux du GPS, mais avec beaucoup plus de précision, de disponibilité et d'intégrité.

### Le système de renforcement à couverture locale (LAAS)

Similaire au concept WAAS qui incorpore l'utilisation de satellites de communication pour diffuser un message de correction, le système de renforcement à couverture locale (LAAS) diffuse son message de correction via une très haute fréquence (VHF) en formant une liaison de données avec les stations radio au sol. Il est important pour la navigation aérienne.

Le système LAAS procure un niveau de précision, de disponibilité et d'intégrité extrêmement élevé nécessaire aux approches de Catégorie I, de Catégorie II et de Catégorie III avec la possibilité de repérer la position d'un avion à un mètre près ou moins. Les trajectoires d'approche courbes sont possibles avec le LAAS tout autant que les approches autour des obstacles. Le LAAS permet aussi d'éviter les espaces aériens réglementés, les zones sensibles au bruit, et les espaces aériens encombrés. Le LAAS offre une approche de précision à toutes les pistes en plus de fournir aux contrôleurs les moyens pour déterminer l'emplacement de tous les véhicules de services aéroportuaires ainsi que celui de tous les avions circulant au sol afin de prévenir toutes incursions sur les pistes.

Le développement continu des systèmes WAAS et LAAS amènera éventuellement ces deux systèmes à être combinés

dans un seul et même équipement avionique à l'usage des membres d'équipage ainsi que du personnel de l'aéroport.

### La surveillance dépendante automatique (ADS)

Un autre perfectionnement du système GPS permet la surveillance, à partir du sol, de la position et de la progression d'un avion équipé d'un GPS. L'équipement de bord est capable de relayer à un récepteur au sol les coordonnées géographiques exactes de l'avion au gré de son déplacement en vol. Cette information est affichée sur l'écran de surveillance d'une unité de contrôle de la circulation aérienne où elle est suivie par les contrôleurs.

Connu sous le nom de surveillance dépendante automatique (ADS), ce système a l'avantage de fournir un suivi de la position des avions se trouvant en dehors des limites normales de couverture radar, ou encore engagés dans la poursuite de vols transocéaniques ou au-dessus de régions reculées du continent. Il est donc possible d'assurer le contrôle et l'espacement entre les vols à l'intérieur de ces régions.

La surveillance dépendante automatique en mode diffusion ou l'ADS en mode diffusion (ADS-B) est la plus récente innovation dans le domaine de la technologie ADS. Le ADS-B permet de transmettre à l'avion en vol l'information visible à l'écran de surveillance du contrôle de la circulation aérienne permettant ainsi à l'équipage de conduite d'identifier leur progression ainsi que celle des autres avions à proximité.

Le système ADS-B procure une amélioration de la sécurité en vol entourant le contrôle de la circulation aérienne. Il permet de transmettre des messages de position et de vitesse de tous les avions munis d'un ADS-B à l'ATC ainsi qu'à tous les autres avions munis d'un ADS-B. Cette nouvelle technologie permet aux pilotes et aux contrôleurs de la circulation aérienne de voir la même information sur leurs écrans respectifs. En voyant affichées dans leur avion les données relatives à l'altitude, le cap, la vitesse et la distance par rapport à d'autres avions à proximité, les pilotes bénéficient d'une meilleure évaluation du trafic aérien. Les pilotes ont également accès à des données météorologiques actuelles, à des situations conflictuelles au sol et à de l'information de vol comme les NOTAM.

### 9.8.4 L'affichage à défilement cartographique

L'affichage à défilement cartographique, reposant sur le GPS, utilise la technologie et les capacités des systèmes GPS et Loran C pour reproduire la trajectoire de vol de l'avion en temps réel sur un écran luminescent qui affiche également la carte de navigation appropriée. Grâce aux renseignements sur la position de l'avion fournis par le GPS, le système affiche la trajectoire de vol. La position de l'avion peut être illustrée de deux façons :

1. L'avion occupe le centre de la carte et c'est la carte qui se déplace, ou
2. L'avion se déplace, la carte restant fixe.

La position de l'avion par rapport aux aides à la navigation, aux aéroports, aux régions de contrôle terminal, aux zones de contrôle et autres espaces aériens à vocation spéciale est affichée continuellement.



Image 37 – Écran multifonction (MFD) à affichage à défilement cartographique

La base de données est contenue sur une carte informatique qui s'insère facilement dans le système. Toutes les informations de base (par ex. les aéroports avec leurs pistes et leurs approches, les aides à la navigation, les points de cheminement et les inter-sections) peuvent être rappelées sur l'écran. Le système permet la préparation et l'enregistrement des plans de vol. Jumelé à un pilote automatique, le système d'affichage à défilement cartographique pilotera automatiquement l'avion selon le plan de vol, tout en affichant sa progression sur l'écran. L'échelle de la carte peut varier pour afficher une zone pouvant couvrir une distance de 1000 mi allant jusqu'à aussi peu que 1 mi (cette dernière pour les approches). Le système affiche l'altitude de sécurité minimale en route, l'écart par rapport à la route (CDI), la vitesse-sol, l'heure d'arrivée prévue (ETA), le temps estimé en route (ETE), l'azimut et la distance jusqu'au prochain point de cheminement, l'aéroport ou le VOR le plus proche, etc.

## 9.9 Le système d'instruments de vol électroniques (EFIS)

Les progrès technologiques survenus ces dernières années, tant dans le domaine de l'avionique que celui des affichages générés par ordinateur, ont grandement modifié l'apparence des tableaux de bord modernes. Communément appelé poste de pilotage à écrans cathodiques (ou cockpit à écrans cathodiques), le système d'instruments de vol électroniques (EFIS) remplace

les instruments électromécaniques qui, jusqu'à récemment, affichaient l'information au moyen d'aiguilles et de cadrans. L'EFIS est un système électronique fait d'écrans à cristaux liquides (LCDs) minces et plats qui affichent l'information, tels que les messages textes, les images, et les images mobiles.

L'écran peut être relié à n'importe quel système de navigation de bord, comme le RNAV, le GPS, etc. La souplesse du système EFIS permet à l'équipage de conduire de programmer la route voulue avant le vol en chargeant toutes les données nécessaires dans la mémoire de l'ordinateur. Le système est capable d'emmagasiner et d'afficher des routes alternatives. Les changements survenant en vol sont traités instantanément. L'information et la position sont affichées instantanément. Le système indique la position de l'aéronef par rapport à un point de cheminement quelconque. Il affiche le cap, l'altitude et la vitesse-sol, crée de nouveaux points de cheminement, projette la trajectoire d'approche vers un ILS ou un MLS et donne en même temps la position de l'aéronef par rapport à cette trajectoire. En outre, il est capable d'afficher le temps à l'avant grâce au radar météo, de même que les données opérationnelles de l'aéronef (vitesse, taux de montée ou de descente, altitude, etc.) et des moteurs (température des moteurs, T/M ou vitesse des turbines, etc.). En fait, les renseignements pouvant être affichés par l'EFIS sont virtuellement illimités.

Une modification récente du système EFIS permet la projection de l'information sur le pare-brise avant de l'avion, directement dans le champ de vision du pilote lorsque celui-ci regarde à l'extérieur.

Ce système d'affichage tête haute permet au pilote de contrôler à la fois les instruments et la progression de l'avion, particulièrement en approche à l'atterrissage. Des systèmes d'imagerie thermique sont maintenant mis au point qui permettent de détecter les objets au-delà du pare-brise du poste de pilotage et ce, à partir de l'affichage tête haute situé entre le pilote et le pare-brise, au-dessus du tableau de bord.

Les avions munis de ce type d'équipement à la fine pointe de la technologie permettent aux pilotes de voir à travers le brouillard et l'obscurité, assurant ainsi une plus grande sécurité durant toutes les phases d'opérations de vol à très faible visibilité.

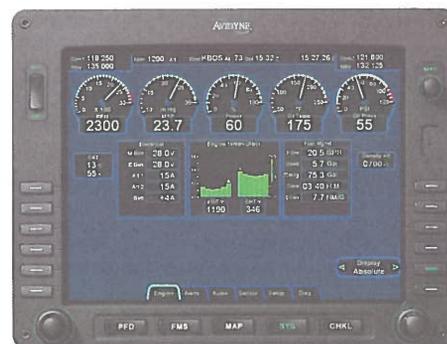


Image 38 – Écran multifonction (MFD) - Surveillance du moteur

Un avantage des affichages électroniques est qu'il est possible d'accéder à certaines informations uniquement au besoin et lorsqu'on en a fini, de les retourner en mémoire, où elles sont contrôlées automatiquement. On a en outre la possibilité d'ajouter de nouvelles fonctions, parfois adaptées à des besoins spécifiques, sans pour autant devoir modifier substantiellement les équipements, voire même les remplacer complètement, comme c'est le cas pour les instruments électromécaniques traditionnels.

Les premiers tableaux de bord style «tout de verre» ont fait leur apparition sur les avions de ligne à réaction de la nouvelle génération. On les retrouve aussi dans tous les avions corporatifs. Composés d'un **écran principal de vol (PFD)**, d'un **écran multifonction (MFD)** et d'un **système de surveillance EMS**, les **postes de pilotage à écrans cathodiques EFIS** font maintenant partie de la nouvelle génération des avions à piston de l'aviation générale produits à travers le monde.

### 9.9.1 Le système de gestion du poste de pilotage

Des systèmes de gestion du poste de pilotage très avancés sont maintenant disponibles, ils contrôlent les modes EFIS, les systèmes anticollision embarqués ACAS (TCAS), le radar météo, les systèmes d'alerte de proximité du sol ou des obstacles, les indications des moteurs et les systèmes consultatifs de l'équipage. Toute l'information est présentée sur un seul affichage à fonctions multiples.

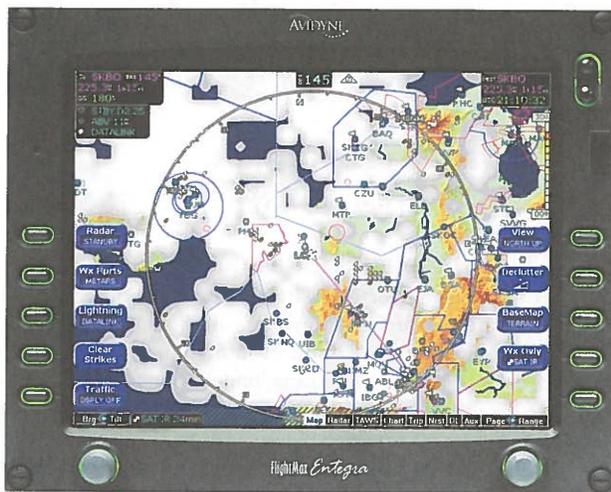


Image 39 – Écran multifonction (MFD) - Gestion du poste de pilotage

La position de l'aéronef est représentée sur un écran à affichage à défilement cartographique, voir 9.8.4 - L'affichage à défilement cartographique/image 37, qui comprend une base de données renfermant des milliers de points de cheminement, les aéroports, les pistes, les fréquences, les limites d'espace aérien, les VOR, les NDB, les voies aériennes, etc. Des renseignements géographiques, tels que l'élévation, l'hydrographie, les obstacles, les autoroutes, etc., sont également présentés.

Le système contrôle l'état des moteurs et de la cellule, recherchant continuellement tout indice de déficience ou d'écart par rapport à la norme. Le système peut être couplé aux autres systèmes de l'aéronef comme les instruments analogues, les instruments moteur, les altimètres avec transmission de l'altitude, les ordinateurs de gestion de carburant, les récepteurs GPS.

La relation entre l'aéronef et son environnement est constamment affichée. Par l'intermédiaire de l'altimètre-«encodeur» et des récepteurs GPS, le système compare l'altitude de l'aéronef par rapport à la base de données cartographiques. Lorsque l'aéronef se trouve en dessous des minima sécuritaires, le système d'alerte de proximité du sol ou des obstacles prévient le pilote.

Ce système est conçu pour réduire la charge de travail de l'équipage et pour favoriser l'exploitation de l'aéronef avec le regard du pilote concentré davantage à l'extérieur du poste de pilotage.

### 9.9.2 Les systèmes de gestion de vol (FMS)

La plupart des transporteurs aériens et des avions d'affaires d'aujourd'hui sont équipés de systèmes informatisés de contrôle de vol appelés **systèmes de gestion de vol (FMS)**. Ces systèmes fournissent des informations qui permettent aux pilotes de programmer leur équipement à des tâches telles que l'activation du pilote automatique. Dans un tel cas, l'avion pourra effectuer automatiquement une descente contrôlée sur une piste à un angle de descente constant (généralement de 3°) tout en tenant compte de tous les critères de franchissement d'obstacles nécessaires à ce que cette procédure d'approche particulière soit faite en toute sécurité.

Dans certaines approches aux aéroports, telle la NPA (approche de non-précision, ou percée dirigée, ou approche classique), la NPA s'effectue selon une technique de descente par paliers. Cette charge de travail est plus lourde pour le pilote qui doit contrôler la stabilité de l'aéronef durant la descente en s'assurant d'éviter tous les obstacles en approche, et ce, en particulier dans les zones montagneuses. Une fois activé, un FMS minimisera les manoeuvres verticales requises pour l'exécution d'une NPA de manière à obtenir un taux de descente constant tout au long de la trajectoire vers la piste. Une NPA sous le contrôle d'un FMS soulagera grandement la charge de travail du pilote et de ce fait, permettra une descente plus confortable pour les passagers.

## 9.10 Le radar et les installations radar

Le terme RADAR est dérivé de l'anglais «Radio Detection and Ranging», ce qui signifie «Radiodétection et évaluation des distances». Le fonctionnement du radar requiert un émetteur/antenne radio hautement directionnel et un écran pour afficher l'information reçue à l'antenne.

Les principales applications aéronautiques du radar sont :

1. Déterminer la position des avions en vol
2. Contrôler la circulation aérienne
3. Repérer l'activité orageuse
4. Guider les avions à l'approche et à l'atterrissage

Le radar fonctionne sur la bande des fréquences 3000 MHz à 10 000 MHz. Une série de signaux radioélectriques extrêmement brefs de super haute fréquence, appelés impulsions, sont envoyés dans l'espace sur un **faisceau** qui a pour origine une antenne radar hautement directionnelle. Ces impulsions viennent se percuter contre les avions, les navires, les édifices et autres structures qui les renvoient à l'expéditeur. Le temps que met l'impulsion pour se rendre jusqu'à l'objet réfléchissant et en revenir est mesuré électroniquement en millièmes de seconde et sert à déterminer la distance entre l'objet et l'expéditeur. Cette information est affichée sur un écran cathodique, appelé oscilloscope. L'information apparaît sous forme d'une tache lumineuse qui porte le nom de **cible**.

L'antenne radar occupe le centre de l'écran. L'écran présente des anneaux concentriques, ou marqueurs de distance, qui indiquent la distance depuis l'antenne (voir image 40).

## La radio navigation : l'approche assistée au radar

On retrouve une échelle d'azimut sur la périphérie de l'écran (non représentée à l'image 40). Le contrôleur radar est ainsi capable de déterminer la direction et la distance de la cible représentant un avion.

Le faisceau, envoyé par l'émetteur radar, sonde et détecte uniquement les objets vers lesquels il est directement orienté. Afin de «voir» depuis le poste d'observation tous les objets disséminés sur l'horizon en entier, on fait tourner le faisceau sur 360° à l'aide d'une antenne tournante dont la vitesse de rotation est constante. La ligne de balayage apparaissant sur l'écran est synchronisée avec la rotation de l'antenne. La cible qui apparaît sur l'écran s'évanouit après le passage de la ligne, mais réapparaît lors de son prochain passage. Ceci permet de suivre la trajectoire de l'avion à l'écran.

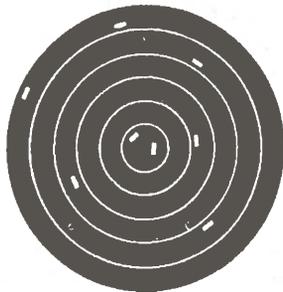


Image 40 – Écran radar

Les ondes radio voyagent à la vitesse de 186 000 mi/sec. Pour les mesurer, on utilise une unité de temps, la **microseconde**, qui représente un millionième de seconde.

Les impulsions d'énergie électromagnétique sont envoyées vers la cible qui les réfléchit, c.-à-d. qui les renvoie au point d'origine (voir image 41). Le signal réfléchi porte le nom d'**écho**. Un signal met 10,75 microsecondes à parcourir une distance d'un mille vers la cible et à en revenir sous forme d'écho. L'aller-retour (c.-à-d. un mille à l'aller et un mille au retour) porte le nom de **mille radar**.

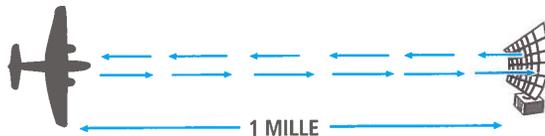


Image 41 – Mesure de distance par radar

L'usage du radar dans les procédures de contrôle de la circulation aérienne permet d'accroître l'utilisation de l'espace aérien et donne lieu à l'élargissement des services d'information de vol tels que l'information sur le trafic, les conditions météorologiques et l'aide à la navigation.

Il existe deux principaux types de systèmes radar :

1. Le radar primaire de surveillance (PSR) et
2. Le radar secondaire de surveillance (SSR)

Le **radar primaire de surveillance (PSR)** : le radar primaire repose uniquement sur le principe de l'écho et ne requiert pas la présence d'équipement spécial à bord des avions. Quatre types de radars primaires sont utilisés par les unités ATC :

1. Radar de surveillance d'aéroport et de voies aériennes (AASR) - radar de moyenne portée (150 NM à 200 NM) destiné à la surveillance des aéroports et des voies aériennes.
2. Radar de surveillance d'aéroport (ASR) - radar de portée relativement courte destiné principalement à la

surveillance des aéroports et des régions terminales, voir 9.10.2 – L'approche assistée au radar.

3. Radar d'approche de précision (PAR) - radar de faible portée servant d'aide à l'approche, voir 9.10.2 – L'approche assistée au radar.
4. Radar de surveillance des mouvements de surface (ASDE) - surveillance au radar de la circulation en surface utilisée par les contrôleurs pour contrôler la position des aéronefs et des véhicules sur les aires de manoeuvre de l'aéroport, particulièrement par mauvaise visibilité.

Le **radar secondaire de surveillance (SSR)** : radar de surveillance secondaire (SSR) qui exige un équipement spécial à bord des aéronefs :

1. Transpondeur : système aéroporté capable d'envoyer un signal à un récepteur radar au sol pour renforcer le signal de surveillance.
2. Radar à affichage numérique (RDD-1) : système radar qui n'utilise que les renseignements générés par le transpondeur pour affichage sur l'écran radar au sol. Conséquentement, seuls les aéronefs dotés d'un transpondeur en marche sont en mesure de bénéficier de l'aide à la navigation.

### 9.10.1 Le radar primaire de surveillance (PSR)

#### L'ASR (radar de surveillance d'aéroport)

L'ASR est un radar de portée relativement courte qui assure la surveillance des alentours immédiats d'un aéroport. L'écran ASR donne uniquement l'azimut et la distance, à moins que l'aéronef ne soit équipé d'un transpondeur avec transmission d'altitude. Le contrôleur ASR guidera l'aéronef vers une piste spécifique. S'il reçoit les renseignements sur l'altitude, le contrôleur peut également fournir l'assistance sur l'alignement de descente. Autrement, le pilote devra juger de sa descente lui-même, en se basant sur les données de distance fournies par le contrôleur.

#### Le PAR (radar d'approche de précision)

Le **PAR** guide l'avion jusqu'à l'approche finale d'une piste désignée aux instruments. En plus de l'azimut et de la distance, il fournit l'assistance sur l'alignement de descente jusqu'au point de poser.

### 9.10.2 L'approche assistée au radar

Le niveau actuel des systèmes radar permet de guider les pilotes volant aux instruments jusqu'à la piste au moyen d'instructions verbales énoncées par le contrôleur d'un radar primaire de surveillance, ASR ou PAR.

L'approche assistée au radar est offerte quand aucune autre méthode d'approche n'est disponible. Seul un récepteur radio est requis à bord de l'avion, de même que les instruments de vol de base. Le pilote perdu ou se trouvant accidentellement dans des conditions de vol aux instruments, ou encore en situation d'urgence, pourra demander l'assistance radar.

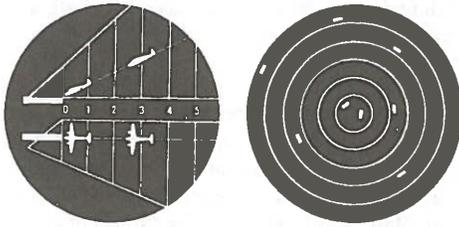


Image 42 - Écrans de balayage radar

À droite : l'écran du radar de surveillance ou ASR :

- les cercles sont espacés de 5 mi
- les «taches lumineuses» représentent les avions.
- l'antenne du radar de surveillance, tournant sur 360°, balaye l'espace sur un rayon de 30 mi sur une hauteur de 10 000 pi.
- la position de tous les avions se trouvant dans une zone de 2800 mi<sup>2</sup> est constamment affichée sur l'écran.

À gauche : l'écran du PAR (radar d'approche de précision).

- la position tridimensionnelle exacte des avions est affichée continuellement
- altitude, azimut, distance. (Les silhouettes d'avions ont été tracées pour faciliter la compréhension du principe. En réalité, les avions apparaissent sous la forme de «taches lumineuses» comme sur l'illustration de droite).
- l'opérateur PAR a deux de ces écrans à sa disposition. L'un couvre une zone de 10 mi et l'autre, une zone de 3 mi. Ce dernier «grossit» l'image pour plus de précision au cours de l'approche finale. L'équipement est précis en deçà de +/- 10 pi.

L'opérateur radar au sol «voit» l'avion sur les écrans radar de surveillance (voir image 42), disposés devant lui. Les lignes et les cercles tracés sur les écrans lui donnent l'azimut, la distance et l'altitude de l'avion, ce qui lui permet de guider le pilote jusqu'à la piste.

## L'utilisation de l'approche assistée au radar

L'assistance radar pour les vols VFR s'obtient en appelant la tour de contrôle. Donnez votre position approximative aussi exactement que possible et votre altitude. La tour assignera une fréquence que vous utiliserez pour vos communications avec le contrôleur radar. On vous demandera ensuite d'effectuer quelques virages simples ou, si vous possédez un transpondeur, «d'afficher ident» (Squawk Ident). Ceci a pour but de vous identifier positivement sur l'écran radar. Puis, il se peut que le contrôleur vous donne des instructions en cas de perte de communication.

**Contrôleur :** «Si vous perdez le contact radio pendant 5 secondes, demeurez en VFR et contactez la tour sur... MHz (fréquence de la tour) pour d'autres instructions.»

Si vous êtes perdu dans des conditions de vol VFR, le contrôleur de la surveillance d'approche (ASR) vous donnera un cap à suivre pour vous rendre jusqu'à la piste. Il continuera de vous guider au cas où vous vous écarteriez de la trajectoire requise.

Si la visibilité est marginale et qu'un atterrissage aux instruments s'avère nécessaire, on vous accordera une assistance de navigation de précision au radar pour vous amener à une altitude sécuritaire dans le circuit, puis en parcours de base. À ce moment-là, on vous demandera de vérifier votre conservateur de cap et de ne pas le régler de nouveau durant l'approche. Au cas où votre gyroscope ne fonctionnerait pas, avisez immédiatement le contrôleur. Il vous donnera alors une approche «sans gyroscope» et vous transmettra un message de ce genre :

**Contrôleur :** «Ceci est une approche de précision sans gyroscope. Piste Un Trois. Effectuez tous les virages au taux un. Exécutez les instructions de virage sur réception.»

Obéissez à ces instructions implicitement, en utilisant votre horizon artificiel comme référence. N'essayez surtout pas de faire des corrections par vous-même.

Une fois sur le parcours de base, juste au moment d'intercepter l'approche finale, le contrôleur PAR prendra la relève. Il vous fera virer au cap qui vous alignera sur l'approche finale de la piste choisie. Lorsque vous serez sur le point d'intercepter l'alignement de descente, on vous donnera le bon taux de descente à maintenir. Les instructions seront simples.

**Contrôleur :** «Vous êtes maintenant en finale pour la piste Un Trois. Six milles du point de poser.»

Une fois la descente commencée, si l'approche est normale, le contrôleur se contentera de vous donner des vérifications de distance, de direction et d'alignement de descente. Exemple :

**Contrôleur :** «Vous êtes à trois milles du point de poser. Sur l'alignement de piste. Sur l'alignement de descente.»

Si vous veniez à vous écarter de l'alignement de piste ou de l'alignement de descente, il vous avisera de cette déviation et vous indiquera la correction nécessaire. Exemple :

**Contrôleur :** «Quatre milles du point de poser. 200 pi à gauche. Virez à droite. Cap Un Trois Six.» Rég., «Vous êtes sur l'alignement de piste.» Rég., «Vous êtes 50 pi au-dessus de l'alignement de descente. Descendez doucement.» Ensuite, «Vous êtes sur l'alignement de descente. Ajustez votre taux de descente.» Alors que vous vous approchez du seuil de la piste, il vous avertira : «Vérifiez Train sorti et verrouillé.» Quand vous arrivez au-dessus du seuil de piste : «Terminez à vue.» Vous êtes alors autorisé à reprendre charge de l'avion et à atterrir.

## 9.10.3 Le radar secondaire de surveillance (SSR)

Bien que le radar offre un avantage considérable pour le contrôle de la circulation aérienne, il présente néanmoins certains désavantages.

Dans les zones à forte densité de trafic, toutes les cibles affichées sur l'écran se ressemblent. Le contrôleur ne dispose d'aucun moyen pour faire la distinction entre deux cibles localisées dans la même région. Il doit donc demander à l'un des pilotes de suivre un cap précis, puis attendre de voir sur l'écran quelle cible obéit aux instructions avant de pouvoir effectuer une identification positive.

Les signaux dirigés vers les aéronefs volant à basse altitude sont souvent affectés par les accidents du terrain, les édifices, etc. Par conséquent, l'écho est faible.

Les zones de précipitation renvoient également des échos.

C'est pour surmonter les désavantages du radar primaire de surveillance (PSR) que le radar secondaire de surveillance (SSR) a été mis au point. Il requiert la présence à bord de l'avion d'un équipement capable de retourner à l'émetteur radar primaire un signal fort. Ainsi, la cible apparaissant sur l'écran radar est plus nette et plus facilement identifiable.

Cet équipement de bord est le [transpondeur](#).

## Le transpondeur

Conçu pour renforcer le signal d'un radar de surveillance, le transpondeur permet l'identification positive des aéronefs par les installations ATC au sol. Un système transpondeur d'avion typique comprend une unité de contrôle, un émetteur/

récepteur et une petite antenne en «L» montée sous le fuselage de l'aéronef. L'équipement au sol consiste en un émetteur/récepteur et une antenne directionnelle tournante habituellement installée sur l'antenne régulière du radar de surveillance.

Voici comment fonctionne le transpondeur. L'équipement radar au sol envoie un signal spécial à tous les aéronefs. Ce signal est en fait une interrogation : «Qui êtes-vous?» Seuls les aéronefs munis d'un transpondeur sont en mesure de répondre. Le transpondeur de bord capte le signal et renvoie automatiquement un fort signal pulsé en guise de réponse. Le signal réponse est converti en distance et en direction (et en altitude sous Mode C) par la station radar au sol; puis, il est affiché en compagnie de la cible représentant l'aéronef sur l'écran du contrôleur aérien sous l'apparence de 1 ou 2 traits.

Les signaux-interrogations émis par les radars au sol sont classés par modes. Le Mode A demande l'identification. Le Mode C demande les renseignements concernant l'altitude. Le pilote règle l'appareil en fonction du mode requis. Les transpondeurs en usage sur les avions légers offrent le choix entre Mode A et Mode A/C. En Mode A, le transpondeur répond automatiquement à toutes les interrogations. Quand le sélecteur se trouve sur Mode A/C, le transpondeur donne automatiquement l'information sur l'altitude en plus de l'identification.



Image 43 – Signaux par impulsion entre les avions et la station au sol (dans les deux sens), formatés et codés pour l'identification du signal

Pour que le transpondeur de bord puisse coder les renseignements concernant l'altitude et les relayer à l'ATC, l'avion doit être doté d'un «altimètre-encodeur» (dispositif de transmission automatique de l'altitude-pression) relié au transpondeur.

Au Canada, seuls les aéronefs munis de transpondeurs comprenant un dispositif de transmission automatique de l'altitude-pression (c.-à-d. Mode C) sont autorisés dans l'espace aérien «classes A, B et C».

Le transpondeur illustré à l'image 44 passe automatiquement au «Mode A» lorsqu'on le met en marche. On passe au «Mode C» en sélectionnant ALT.



Image 44 – Transpondeur

On affichera toujours le «Mode C» (si le transpondeur est doté du dispositif de transmission automatique de l'altitude) à moins que l'ATC ne l'exige autrement. Si l'avion est exploité conformément à un plan de vol VFR, le code VFR approprié (voir l'exemple ci-dessous) doit également être affiché.

Le signal-réponse envoyé par le transpondeur de bord est codé. Le contrôleur aérien assigne des codes spécifiques en fonction des niveaux de vol et des conditions entourant le vol. Le pilote affiche le code approprié sur l'instrument.

La plupart des transpondeurs sont capables d'afficher 4096 codes. Tous les codes possèdent quatre chiffres. À l'image 44, on remarque que le code 1200 est affiché. Le contrôleur est

capable d'identifier les différents codes qui ont été assignés en fonction de critères bien précis.

#### Exemple :

Le contrôle des arrivées d'un centre ATC quelconque utilisera le code 4700, alors que le contrôle des départs assignera le code 2400. Lorsqu'un centre ATC demande au pilote d'entrer en contact avec un autre centre, il lui fournira le code de ce centre. Le pilote sur un plan de vol VFR affichera 1200 (à et en dessous de 12 500 pi) ou 1400 (au-dessus de 12 500 pi) sur son transpondeur. De cette manière, les contrôleurs radar savent automatiquement qu'il s'agit d'un aéronef en VFR. Ils pourront ainsi assurer l'espacement entre le trafic en VFR et le trafic en IFR.

Lorsque l'ATC émet des instructions concernant l'emploi du transpondeur, le pilote est tenu de s'y conformer jusqu'à nouvel ordre ou jusqu'à ce qu'il ait atterri. Seulement en cas d'urgence, de panne de communication ou de détournement, le code transpondeur peut-il être modifié sans l'autorisation de l'ATC.

En cas d'urgence, si le pilote ne peut entrer immédiatement en communication avec une unité ATC, il avertira celle-ci de la situation en réglant son transpondeur sur le code 7700. Le pilote communiquera ensuite avec l'ATC le plus tôt possible et réglera son transpondeur selon les instructions reçues.

En cas de panne de communication, le pilote avertira l'ATC de la situation en réglant son transpondeur sur le code 7600. Le code 7500 alerte l'ATC en cas d'interférence illégale (c.-à-d. détournement illicite).

Sur un plan de vol IFR, une perte totale de communication nécessite la terminaison du vol au premier aéroport convenable. La versatilité du transpondeur peut facilement être appréciée dans les situations où seule la transmission est affectée. Il est possible de poursuivre le vol, sous autorisation IFR, en utilisant uniquement le transpondeur comme appareil émetteur. Le contrôleur aérien est en mesure de poser des questions et de donner des instructions d'une façon tout à fait normale; l'aéronef répond en appuyant sur le bouton d'identification IDENT (Squawk Ident).

Si le transpondeur ou «l'altimètre-encodeur» tombe en panne au cours d'un vol dans l'espace aérien où le Mode C est requis, l'exploitation de l'aéronef est possible jusqu'au prochain aéroport où un atterrissage est prévu et, par la suite, il pourra poursuivre son itinéraire ou se rendre à une base d'entretien si l'ATC l'a autorisé.

Sur demande, l'ATC peut autoriser un aéronef dépourvu d'un transpondeur «Mode C» à évoluer dans l'espace aérien où ce type de transpondeur est obligatoire. Une telle autorisation est accordée seulement si elle ne risque pas de compromettre la sécurité de la circulation aérienne dans l'espace aérien en question.

Quand plusieurs avions utilisent le même code, le contrôleur identifiera «une cible» précise en demandant au pilote concerné d'appuyer sur le bouton d'identification IDENT (Squawk Ident). Dès que le pilote appuie sur le bouton, le transpondeur envoie un signal spécial qui permet à l'écho de la cible d'apparaître en gras pendant quelques secondes sur l'écran du contrôleur, avant de reprendre une apparence normale. On utilise IDENT seulement à la demande de l'ATC.

La majorité des appareils possèdent une fonction de vérification ou un voyant/réponse miniature qui s'illumine chaque fois que le transpondeur répond à une interrogation, signalant ainsi au pilote que le transpondeur est opérationnel.

Chaque unité radar de l'ATC est équipée d'un système d'alarme. Si le pilote affiche le code d'urgence, de panne de communication

ou de détournement illicite alors que l'aéronef se trouve à l'intérieur de la zone de couverture radar, le système d'alarme se déclenche. Il arrive que ces codes soient temporairement et involontairement affichés au moment de passer d'un code à un autre. Pour éviter que le signal d'alarme fonctionne inutilement, les pilotes doivent donc veiller à ne pas afficher le chiffre 7 dans la fenêtre de gauche quand ils changent de code. Cependant, ils ne passeront pas sur «standby» durant cette opération, car leur cible disparaîtrait aussitôt de l'écran radar.

Les pilotes régleront leur transpondeur sur «standby» (en attente) pour la circulation au sol (ou roulage) précédant le décollage, sur «On» le plus tard possible avant le décollage et sur «Standby» ou «Off» aussitôt que possible après l'atterrissage.

**Mode S** : un développement récent de la technologie du transpondeur concerne l'implantation du «Mode S» avec une capacité de liaison des données. Avec 16 millions de codes distincts, le «Mode S» est en mesure d'assurer à chaque aéronef une signature personnelle. Il est entièrement compatible avec les systèmes actuels de contrôle de la circulation aérienne par radar. Un radar secondaire de surveillance (SSR) capable de fonctionner en «Mode S» émettra une interrogation ATRCBS (Air Traffic Control Radar Beacon System) conventionnelle, suivie d'une série de signaux supplémentaires. Le transpondeur, réglé sur le «Mode S», répondra à l'interrogation ATRCBS standard, mais enverra également les données additionnelles requises. L'information transmise via le Mode S inclura probablement la délivrance des autorisations, la confirmation d'une autorisation de décollage, enfin une foule de renseignements concernant les routes et les autorisations. Elle pourrait également comprendre la météo et même les cartes du temps. L'information serait affichée sur un écran cathodique installé dans le poste de pilotage. L'équipage accuserait réception en appuyant simplement sur un bouton. Un avantage principal du «Mode S» est qu'il contribuera à réduire l'achalandage extrême sur les canaux VHF. Le «Mode S» fait partie des installations anticollision ACAS (TCAS), voir 9.10.4 – Le système anticollision embarqué (ACAS).

### 9.10.4 Le système anticollision embarqué (ACAS)

En raison de l'augmentation considérable du trafic aérien et des inquiétudes concernant les collisions et les quasi-collisions, la mise au point d'un **système anticollision embarqué (ACAS)** était devenue inévitable. L'ACAS repose sur la technologie du transpondeur et requiert la présence à bord d'un transpondeur capable de fonctionner en Mode S. L'équipement ACAS conçu et fabriqué aux États-Unis porte le nom de **système d'avertissement de trafic et d'évitement d'abordage (TCAS)**.

Les aéronefs dotés d'un système ACAS (TCAS) envoient continuellement des interrogations auxquelles tout aéronef muni d'un transpondeur avec au moins le Mode C répond automatiquement, sans aucune intervention de la part du pilote.

Le TCAS (ACAS) est conçu pour fonctionner indépendamment du contrôle de la circulation aérienne (ATC). Compte tenu du type d'équipement, le TCAS/ACAS affichera le trafic à proximité et donnera des **avis de circulation (TA)** et/ou des **avis de résolution (RA)**. Les TA fournissent des renseignements sur le trafic à proximité et sont conçus pour aider l'équipage de conduite à rechercher visuellement le trafic conflictuel. Les RA peuvent être des **avis de résolution préventifs** (ou **avis préventifs**) qui ordonnent au pilote de maintenir et d'éviter certaines vitesses verticales, ou des **avis de résolution correctifs** (ou **avis correctifs**) qui commandent au pilote de s'écarter de la trajectoire de vol qu'il suit. Lorsque deux aéronefs équipés ACAS II sont sur des

routes convergentes et qu'ils risquent une collision, leurs ordinateurs se mettent en communication au moyen de la liaison de données transpondeur «Mode S» qui est à même de fournir des RA complémentaires et coordonnés (par ex. l'un sera avisé de monter et l'autre de descendre).

Il existe actuellement trois types d'ACAS (TCAS).

**ACAS I** : l'ACAS I est le plus simple. Son rôle consiste à alerter le pilote d'une présence dans le voisinage de son aéronef, en fournissant la distance, l'altitude et un azimuth approximatif (précis dans les 14 °). Sa portée atteint environ 4 NM. L'ACAS I procure seulement un avis de circulation avertissant d'une collision potentielle. Aucun RA n'est fourni. Le pilote doit repérer le trafic visuellement et prendre les mesures d'évitement qui s'imposent.

**ACAS II** : l'ACAS II jouit d'une portée plus grande (environ 14 NM à 15 NM) et sa précision en azimuth est de l'ordre de 9°. Il se compose d'un ordinateur, de commandes, de câbles et d'antennes qui fournissent à la fois des TA et des RA dans le plan vertical. L'ACAS II est programmé selon une logique d'évitement des collisions très avancée. Il est en mesure de calculer une manoeuvre d'évitement adéquate et de l'afficher sur un écran particulier, un radar météo ou une unité d'affichage de poste de pilotage EFIS. Si deux aéronefs pourvus d'un ACAS II, se trouvent sur des routes convergentes et qu'il y a risque de collision, les manoeuvres d'évitement sont coordonnées. Le système transmet la manoeuvre d'évitement d'un aéronef à l'autre aéronef, de sorte que ce dernier adopte une manoeuvre complémentaire.

**ACAS III** : l'ACAS III est un système plus évolué. Il possède davantage de précision et de portée et donne des avis de circulation (TA) et des avis de résolution (RA) à la fois dans le plan vertical et dans le plan horizontal (c.-à-d. s'il convient de virer, en plus de la possibilité de monter ou de descendre), contrairement au ACAS II qui n'en fournit que dans le plan vertical.

Les aéronefs pourvus d'un ACAS nécessitent deux antennes à la place de l'unique antenne habituellement installée sous le fuselage. Parce que l'unité doit interagir avec les aéronefs qui se trouvent au-dessus et en dessous, la présence d'une deuxième antenne sur le sommet du fuselage est indispensable.

L'ACAS (TCAS) ne diminue pas la responsabilité du pilote en ce qui a trait à la sécurité du vol. L'ACAS répond seulement aux aéronefs équipés de transpondeurs en marche. Les aéronefs sans transpondeur ou avec seulement le «Mode A» sont invisibles aux aéronefs équipés ACAS (TCAS). Les alertes et les avis ne sont pas fournis.

Le Règlement de l'Air permet au pilote de déroger à une instruction ou à une autorisation ATC afin de se conformer à une autorisation RA. Lorsqu'il se conforme à un avis de résolution (RA), le pilote doit prévenir l'unité ATC appropriée de la dérogation à la trajectoire de vol dès que possible. Dès que la situation conflictuelle est rectifiée, le pilote retournera immédiatement à la dernière instruction ou autorisation ATC reçue et acceptée. Les manoeuvres exécutées au cours d'un avis de résolution de trafic conflictuel seront gardées au minimum.

## La phraséologie du transpondeur

Les contrôleurs aériens utilisent certains termes relativement à l'exploitation des transpondeurs.

Code en français	Code en anglais	Interprétation du code
Affichez (code)	Squawk (code)	Utilisez le transpondeur au code désigné
Affichez ident	Squawk ident	Enclenchez le contrôle IDENT du transpondeur
Affichez standby	Squawk standby	Passez sur la position standby
Arrêtez affichage	Stop squawk	Mettez le transpondeur sur OFF
Affichez Low/Normal	Squawk Low/Normal	Régulez la sensibilité du transpondeur sur Low ou Normal selon les instructions. Utilisez le transpondeur sur NORMAL, sauf instructions contraires de l'ATC.
Affichez altitude	Squawk Altitude	Activez le Mode C avec transmission automatique de l'altitude

### 9.10.5 L'altimètre codeur

L'information relative à l'altitude est relayée à l'écran radar de l'ATC par le transpondeur. L'instrument qui fournit ces renseignements au transpondeur est un altimètre spécial, communément appelé l'altimètre codeur (ou alticodeur). Il en existe deux types de base :

1. l'altimètre barométrique (ou altimètre anéroïde ou encore altimètre mécanique) et
2. l'altimètre asservi

L'altimètre barométrique (ou altimètre anéroïde) est muni d'un dispositif de codage qui convertit l'altitude en signaux électriques digitaux par incréments de 100 pi. Ces signaux sont acheminés vers le transpondeur qui, lorsque réglé sur le Mode C, les envoie en réponse à l'interrogation «*Quelle est votre altitude?*» reçue des radars au sol. Il utilise des capsules ventilées, appelées capsules anéroïdes, pour détecter l'altitude. Ces capsules se dilatent ou se contractent sous l'influence de la pression statique. Le mouvement des parois de la capsule anéroïde est transmis par un système d'engrenages aux aiguilles qui indiquent l'altitude sur la face de l'instrument. Simultanément, la pression des capsules anéroïdes en mouvement agit sur un petit disque de verre qui génère le signal électrique nécessaire à activer le dispositif de codage.



Image 45 – Altimètre codeur

L'altimètre asservi utilise également un système anéroïde pour détecter l'altitude, mais l'énergie servant à activer le mécanisme de codage et d'affichage est fournie par le système électrique de l'avion. En plus de contrôler les aiguilles et le dispositif de codage, cet altimètre, grâce à sa source d'alimentation externe, est capable de produire en même temps

les données auxiliaires destinées à différents appareils comme l'avertisseur d'altitude, le variomètre, le système de navigation verticale et le pilote automatique. L'altimètre asservi est très précis et remarquablement fiable. Il a cependant le désavantage de dépendre entièrement du système électrique pour son fonctionnement.

À l'instar de l'altimètre conventionnel, de l'altimètre codeur est pourvu d'une échelle barométrique que le pilote règle au calage altimétrique courant. Les aiguilles se déplacent en réponse à tout changement de calage altimétrique, tout comme un altimètre conventionnel. Toutefois, l'altitude transmise aux récepteurs radar de l'ATC par l'intermédiaire de l'altimètre codeur et du transpondeur est basée sur l'altitude-pression (lecture barométrique de 29,92 inHg). Les ordinateurs de l'ATC corrigent les signaux d'altitude-pression reçus en fonction du calage altimétrique local dans le but d'uniformiser tous les renseignements d'altitude originant de tous les avions se trouvant dans la zone de couverture d'un radar ATC particulier.

## 9.11 La radiobalise de repérage d'urgence (ELT)

La radiobalise de repérage d'urgence (ELT) consiste en un émetteur radio fonctionnant sur pile. Les ELT traditionnels émettaient un signal de détresse distinctif sur la fréquence de détresse internationale 121,5 MHz et/ou 243,0 MHz.

Une nouvelle génération d'ELT émet un signal sur 406 MHz. Une radiobalise 406 MHz possède un code qui lui est unique; elle peut donc être identifiée à l'aéronef dans lequel elle est installée. Une radiobalise 406 MHz émet pour une durée d'environ 1/2 sec / 55 sec. Une radiobalise 121,5 MHz émet continuellement.

Les ELT en usage dans les aéronefs de l'aviation générale sont équipés d'un interrupteur du détecteur d'écrasement (G switch) qui détecte les caractéristiques de décélération anormales qui accompagnent un écrasement et déclenche le fonctionnement de l'émetteur. L'émetteur est construit pour résister aux écrasements et pour fonctionner continuellement pendant au moins 48 heures et ce, par virtuellement n'importe quelle température ambiante. La ELT se déclenche lorsqu'il est soumis à une force de 5 g à 7 g pendant une période de 11 ms.

La plupart des aéronefs canadiens doivent obligatoirement être équipés d'une ELT (ou radiobalise de repérage d'urgence) homologuée à l'exception des avions exploités à l'intérieur de 25 mi de l'aéroport de départ, les avions multimoteur et les avions à réaction exploités uniquement dans l'espace contrôlé, les planeurs, les ballons et les ultra-légers.

L'expérience a prouvé que la ELT réduisait appréciablement les délais de localisation d'un aéronef écrasé, améliorant ainsi les chances de survie de l'équipage et des passagers blessés. Cependant, ne présumez pas que le dispositif automatique a fonctionné. Assurez-vous que la ELT émet bien un signal. Mettez toujours le sélecteur sur «ON». Pour améliorer vos chances d'être repéré le plus rapidement possible, ne retardez pas le déclenchement jusqu'à l'échéance des heures prévues au plan de vol, car un tel délai ne peut que retarder le sauvetage. Ne faites pas passer la ELT en position «ON» et «OFF» périodiquement pour essayer de conserver la pile; un signal irrégulier a pour effet de diminuer la précision du repérage et nuire au radioralliment. Lorsque vous avez déclenché votre ELT, laissez-le fonctionner jusqu'à ce que vous soyez certain d'avoir été repéré et que les équipes SAR vous demandent de le fermer.

Un réseau de satellites en orbite (COSPAS/SARSAT) sert à détecter et à localiser les signaux ELT. Le système est très efficace. À plusieurs reprises, des avions écrasés ont été repérés avant même d'avoir été rapportés manquants. Les satellites COSPAS/SARSAT sont en mesure de capter les signaux en tout temps et de relayer l'information aux avions de recherches et sauvetage (SAR). Les avions SAR se servent de ces signaux pour vous retrouver.

Les balises 406 MHz ont des capacités de performances supérieures à celles d'un transmetteur sur bande de 121,5 MHz. Elles transmettent un signal plus fort, plus précis, vérifiable et traçable. Leurs signaux peuvent être détectés avec précision dans quelques minutes, alors que la détection du signal 121,5 MHz peut prendre plus de 90 minutes. Les signaux sur 406 MHz peuvent être identifiés jusqu'à 5 km de profondeur et jusqu'à 100 m de l'emplacement du signal. Les radiobalises 406 MHz assurent une couverture mondiale; les unités 121,5 MHz offrent une couverture régionale. Si un avion est équipé d'au moins une ELT capable d'émettre sur 406 MHz, chaque ELT doit être enregistrée (au Canada) auprès du **Registre des balises de détresse du Secrétariat national de recherche et de sauvetage**. Dans le cas contraire, les ELT doivent être enregistrées auprès de l'autorité compétente du pays, tel qu'indiqué dans le message codé transmis par la ELT. Les signaux ELT de 121,5 MHz ne sont efficaces que dans la ligne de mire. Pour une meilleure gamme, le transmetteur ELT doit être placé aussi haut que possible sur une surface plane et sans obstacle entre celui-ci et la ligne d'horizon. L'antenne doit être verticale.

En plus du type de ELT qui est installé dans l'avion et qui est activé automatiquement sous l'impact d'un atterrissage en catastrophe, il existe également une ELT de type portative qui est actionnée manuellement. Bien que l'installation à bord du premier type de ELT soit obligatoire, nombreux sont les pilotes qui croient que la présence à bord d'une ELT automatique portative est une précaution supplémentaire.

La ELT est en mesure d'accomplir son travail seulement si elle est «armée/activée». L'émetteur comporte un interrupteur à trois positions :

- ON (sous tension),
- OFF (hors tension) et
- ARMED (activée).

On armera la ELT lors de l'inspection pré-vol. On la fermera en effectuant les procédures d'arrêt après l'atterrissage.

Si vous avez été forcé d'atterrir en raison du mauvais temps ou pour tout autre motif qui n'implique pas une urgence réelle, n'activez pas votre ELT. Cependant, si le délai se poursuit plus d'une heure passé l'heure d'atterrissage prévue sur votre plan de vol, ou plus de 24 heures passé l'heure d'atterrissage prévue sur votre itinéraire de vol, ou encore passé l'heure SAR choisie par vous, votre avion sera déclaré manquant et des opérations de recherches seront entreprises. Pour éviter cela, vous devez aviser l'unité ATS la plus rapprochée du changement apporté à votre plan de vol. Si vous n'arrivez pas à contacter une unité ATS, essayez d'entrer en contact avec un autre avion sur l'une des fréquences suivantes, dans l'ordre, pour qu'il relaye les renseignements à l'ATS : 126,7 MHz, une fréquence locale commune, 121,5 MHz ou 5680 KHz.

Il existe cinq catégories de ELT :

1. **ELT (A) automatique éjectable** ou **ELT (AD) automatique largable** : ce type s'éjecte automatiquement et il est mis en marche au moyen de sondes à inertie lorsque l'avion est soumis, lors de l'écrasement, à une certaine force de décélération.
2. **ELT (F) fixe (non éjectable)** ou **ELT (AF) automatique fixe** : ce type est mis automatiquement en marche grâce à un contacteur à inertie lorsque l'avion est soumis, lors de l'écrasement, à une certaine force de décélération. L'émetteur peut être manuellement mis sous tension ou hors tension. On peut également recharger les piles et ajouter une antenne supplémentaire pour utiliser la radiobalise comme émetteur portatif. La plupart des avions de l'aviation générale utilisent ce type de radiobalise.
3. **ELT (AP) automatique portative** : semblable à la ELT (F), sauf que l'antenne est une partie intégrante de l'appareil portatif.
4. **ELT (P) personnelle** : ce type n'est pas fixé rigidement et n'émet pas automatiquement. Un dispositif permet de l'enclencher ou de l'arrêter manuellement.
5. **ELT (W) actionnée par eau** ou **ELT (S) de survie** : ce type émet automatiquement lorsque plongé dans l'eau. Il est étanche, il flotte et il fonctionne à la surface de l'eau. Il n'est pas fixé rigidement. Il devrait être attaché à un survivant ou à un radeau de sauvetage.

Les émissions ELT accidentelles sont un problème. On recommande aux pilotes d'appareils munis d'une radiobalise de repérage d'urgence d'écouter sur la fréquence ELT (121,5 MHz) dès que la ELT est armée/activée et de nouveau, juste avant l'arrêt du moteur afin d'être sûr qu'elle n'émette pas de signal. La pile doit être déconnectée/débranchée lorsque la radiobalise de repérage d'urgence est retirée de l'avion pour fins d'entretien. Signalez sans tarder toute émission ELT accidentelle à l'unité ATS la plus proche.

La ELT est un émetteur qui fonctionne sur pile. Les pilotes feront bien de se rappeler qu'il faut remplacer la pile avant, ou à la date limite inscrite sur la pile en question. On utilisera seulement des piles homologuées. Les radiobalises ELT doivent être certifiées à nouveau chaque année pour s'assurer qu'en cas d'écrasement, elles soient en mesure d'émettre des signaux qui seront captés par les satellites COSPAS/SARSAT. Un signal ELT qui n'émet pas précisément sur la fréquence requise ou qui est de faible puissance pourra ne pas être capté par les satellites COSPAS/SARSAT. Les satellites requièrent des signaux reconnaissables pour être en mesure de figurer la position de l'avion écrasé.

L'essai d'une radiobalise de repérage d'urgence (ELT) 121,5 MHz s'effectuera pendant les cinq premières minutes de chaque heure UTC. Un maximum de trois tonalités, d'une durée approximative de deux secondes, est tout ce qu'il faut pour vérifier le bon fonctionnement d'une radiobalise de repérage d'urgence (ELT). Ne dépassez les cinq secondes sous aucun prétexte. Une vérification plus prolongée risque de déclencher une fausse alerte.

L'essai d'une ELT 406 MHz doit être effectué conformément aux instructions du fabricant seulement. Étant donné que les signaux numériques ELT 406 MHz sont presque immédiatement détectés par les satellites COSPAS/SARSAT, une sélection sur la position «ON» pendant plus de 50 secondes se traduira par la détection d'un signal d'urgence réel. Les ELT 406 MHz sont équipées d'un auto-test de fonctionnement intégré. Suivez les instructions du fabricant lors de l'exécution des auto-tests et de l'interprétation des résultats.

## La radio navigation : La radiobalise de repérage d'urgence (ELT)

Tout déclenchement accidentel de la ELT sera rapporté à l'unité ATC la plus rapprochée, en précisant l'emplacement exact de l'émetteur, l'heure et la durée de l'émission accidentelle dans le but d'éviter de mettre en branle des missions de recherches et de sauvetage inutiles.

Le pilote est responsable de s'assurer que tous les membres d'équipage et les passagers connaissent l'emplacement de la ELT et de son fonctionnement. Une plaque fournissant cette information doit obligatoirement se trouver dans la cabine de l'aéronef.