

Le radiophare omnidirectionnel VOR

Avant de débuter le cours ...

Présentation du cours

- Introduction.
- Description du VOR (rappel).
- Utilisation du VOR (rappel).
- Modulation du signal VOR.
- L'installation au sol.
- Les antennes sur les aéronefs.
- Les récepteurs VOR.
- Indicateurs et affichages.
- Les problèmes et limitations.
- Vérification et calibration des balises au sol.
- Test des systèmes VOR embarqués.
- Étude de l'indicateur KING KI209.

Introduction

- VOR signifie « *VHF Omnidirectional Range* » ou *radiophare omnidirectionnel VHF*.
- Navigation à *courte distance* : de 40 à 150 NM selon *l'altitude*.
- Fonctionne en *VHF* entre *108.00 MHz* et *117.95 MHz*.
- Souvent *couplé* à un *DMF* ou un *TACAN*.
- Une station est *identifiée* par un *indicateur* en *code morse*.
- Afin de *simplifier la charge de travail* de l'équipage et de *réduire le nombre d'appareils radio*, le VOR et l'ILS ont été *combinés* en un seul appareil souvent référencé à l'aide de l'acronyme « *NAV* ».

Description du VOR (rappel)

Présentation

- Un système *VOR embarqué* est constitué des *éléments suivants* :

- Fonctionnant en *VHF*, sa *portée* est *limitée par l'horizon*.
- Il est donc utilisé pour la *navigation à courte distance*.
- *Chaque station VOR* possède sa *propre fréquence*.
- *Chaque station VOR* est identifiée par un *code morse*.
- *Exemple* :

Description du VOR (rappel)

Présentation

- Souvent, une *station VOR* sera associée à un *DMF* (*Distance Measurement Equipment*), on parlera d'un « *VOR-DME* ».
- Il arrive aussi qu'une *station VOR* soit associée à un *TACAN* (*Tactical Air Navigation*); on parlera dans ce cas d'un « *VORTAC* ».
- Le *TACAN* comprenant un système *DME*, pour *l'utilisateur civil*, il n'y aura *aucune différence* entre un *VOR-DME* et un *VORTAC*.

Utilisation du VOR (rappel)

Les radiales

- La *radiale* est le *relèvement magnétique de l'aéronef* mesuré à partir de la *station VOR*.
- Les pilotes utilisent aussi les termes *QDR* (de l'aéronef vers la station) et *QDB* (le contraire).
- Le *nombre de radiales* est théoriquement *infini*, mais on considère qu'il existe *360 radiales*.
- On parle parfois de radiale en *rapprochement* (*inbound*) ou en *éloignement* (*outbound*).

Utilisation du VOR (rappel)

« TO » ou « FROM » ?

- *Deux zones* sont à considérer :
- *FROM* : correspond à la radiale sur laquelle l'aéronef se trouve.
- *TO* : correspond à la radiale opposée à celle sur laquelle l'aéronef se trouve.
- Le *cap* de l'avion n'a *aucun lien direct* avec la valeur de la *radiale* survolée par l'aéronef.

Utilisation du VOR (rappel)

« TO » ou « FROM » ?

- Une radiale « *éloignement* » de la station.
- Elle représente un « *FROM* ».
- La *radiale opposée* représente un « *TO* ».

Utilisation du VOR (rappel)

Fonction

- Le VOR indique au pilote une position relative par rapport à une radiale :

L'avion se trouve effectivement sur la radiale 300

Utilisation du VOR (rappel)

Fonction

- Le VOR indique au pilote une position relative par rapport à une radiale :

L'avion se trouve effectivement sur la radiale 294

Utilisation du VOR (rappel)

Fonction

- Le VOR indique au pilote une position relative par rapport à une radiale :

L'avion se trouve effectivement sur la radiale 300

Utilisation du VOR (rappel)

Fonction

- Le VOR indique au pilote une position relative par rapport à une radiale :

L'avion se trouve effectivement sur la radiale 294

Utilisation du VOR (rappel)

Attention :

Le cap de l'aéronef n'a rien à voir avec la valeur de la radiale ou du relèvement !

- Le VOR indiquera uniquement la valeur de la radiale ou de son opposée, mais pas le cap de l'aéronef.

Utilisation du VOR (rappel)

Utilisation des radiophares VOR pour les routes aériennes

Carte « En Route Low Altitude »

Utilisation du VOR (rappel)

- Trouver la valeur de la radiale survolée par un aéronef si le pilote lit les informations suivantes sur son indicateur VOR :

✓ OBS = 212				
✓ Flag = TO				
✓ CDB = 2 dots à droite				

✓ OBS = 080				
✓ Flag = FROM				
✓ CDB = 4 dots à gauche				

✓ OBS = 160				
✓ Flag = TO				
✓ CDB = 3 dots à gauche				

Modulation du signal VOR

Fréquences porteuses utilisées

- Le système VOR utilise 160 canaux entre 108.00 MHz et 117.95 MHz.
- L'espace entre les canaux est de 50 KHz.
- Les 160 canaux sont répartis de la manière ci-contre :

108.00 MHz canal VOR	108.05 MHz canal VOR	108.10 MHz canal LOC	108.15 MHz canal LOC	108.20 MHz canal VOR	108.25 MHz canal VOR	108.30 MHz canal LOC	...
111.95 MHz canal LOC	112.00 MHz canal VOR	112.05 MHz canal VOR	112.10 MHz canal VOR	112.15 MHz canal VOR	...	117.95 MHz canal VOR	

De 108.00 MHz à 112.00 MHz, les canaux VOR occupent les fréquences au dixième de mégahertz pair.

Modulation du signal VOR

Les composantes de la modulation du signal VOR

- Une radiale VOR est techniquement représentée par le déphasage entre une onde à 30 Hz de référence (REF) représentant le 000° et une autre onde de 30 Hz variable (VAR) représentant le relèvement de la radiale.
- Le 30 Hz REF est modulé en FM avec une sous-porteuse à 9.360 Hz et un indice de modulation de 16 (excursion de fréquence de ± 380 Hz).
- Le 30 Hz VAR est modulé en AM.
- Le code Morse à 1.020 Hz est modulé en AM de même que l'audio éventuel (ATIS), dans ce dernier cas avec une bande passante de 300 Hz à 3 KHz.
- Si un des éléments n'est pas présent dans le signal ou n'est pas conforme, le piloteur devra informer le pilote à l'aide d'un cranou signifiant le dysfonctionnement du signal VOR.

Modulation du signal VOR

Analyse spectrale de la modulation du signal VOR

The diagram shows the frequency spectrum of a VOR signal. It features a central carrier wave at 113.1 MHz. Two sidebands are present: a lower sideband (LSB) and an upper sideband (USB). The LSB contains a 30 Hz reference tone and a 30 Hz variable tone. The USB contains a 30 Hz reference tone and a 30 Hz variable tone. The carrier wave is modulated with a 30 Hz reference tone and a 30 Hz variable tone. The carrier wave is also modulated with a 30 Hz reference tone and a 30 Hz variable tone.

L'installation au sol

Les types de balises VOR

- HT VOR (H)** avec une portée de 130 NM jusqu'à 60 000 pieds : pour les navigations à hautes altitudes, mais la portée dépend de l'altitude.
- LOW VOR (L)** avec une portée de 40 NM jusqu'à 18 000 pieds : navigation générale.
- Terminal VOR (T)** avec une portée de 25NM jusqu'à 12 000 pieds : localisé habituellement en bordure d'un aéroport.

Il existe deux technologies de balises au sol : le VOR conventionnel (C-VOR) et le VOR Doppler (DVOR).

L'installation au sol

Les stations « VOR conventionnel »

- Exemple de la station VORBAC de YJN (Saint-Jean) 115,8 MHz :

L'installation au sol

Les stations « VOR conventionnel »

The diagram shows the ground station installation for a conventional VOR station. It features a central antenna tower with a height of 100 feet. The antenna is mounted on a structure that is 45,000 feet high. The antenna is also mounted on a structure that is 100 feet high. The antenna is also mounted on a structure that is 100 feet high.

L'installation au sol

Les stations « VOR conventionnel »

- Une station au sol « VOR conventionnel » (C-VOR) émet simultanément deux portuses de même fréquence :
 - Rayonnement omnidirectionnel : modulation FM à 30 Hz de référence (R) avec une sous-porteuse à 9 960 Hz modulées en AM.
 - Rayonnement directionnel (rotatif) : modulation AM à 30 Hz variable (V).

Ces fréquences vont subir une modulation d'espace afin qu'il ne résulte qu'une seule onde à la réception.

Le récepteur va effectuer une différenciation entre les phases des deux ondes à 30 Hz afin de déterminer la radiale suivie.

L'installation au sol

Petit rappel au sujet de l'effet Doppler

- Avant de parler des stations DVOR, un petit rappel au sujet de l'effet Doppler s'impose ...
- Si un mobile émet une fréquence f_m et un autre capte la fréquence reçue f_r , cette dernière dépend des vitesses relatives des deux mobiles v_m et v_r selon la relation suivante :

$$f_r = \frac{c - v_r}{c - v_m} f_m = \frac{1 - (v_r/c)}{1 - (v_m/c)} f_m$$
- Si seul l'émetteur est mobile par rapport au récepteur ($v_r = 0$):

$$f_r = \frac{c}{c - v_m} f_m = \frac{1}{1 - (v_m/c)} f_m$$
- Si nous prenons une fréquence de 110 MHz pour l'émetteur se déplaçant à 1 300 m/s, quelle sera la fréquence reçue ?

Réponse : 110.000.477 Hz

L'installation au sol

Les stations « VOR Doppler » (DVOR)

- Exemple de la station DVOR BUB (Bruxelles 25L) 114,6 MHz :

L'installation au sol

Les stations « VOR Doppler » (DVOR)

- Une station DVOR est constituée d'une antenne centrale omnidirectionnelle et d'un réseau d'une cinquantaine d'antennes cadres Alford placées sur un cercle d'environ 14 mètres de diamètre.
- Grâce à une commutation électronique, une antenne du cercle et son assiette sont activées à la fois dans une séquence permettant d'effectuer 30 tours par seconde.
- On se souvient maintenant du calcul de l'effet Doppler avec une fréquence émise de 110 MHz :

Si la $v_m = +1.300$ m/s, $f_r = 110.000.480$ Hz	Fréquence de battement de 480 Hz
Si la $v_m = -1.300$ m/s, $f_r = 109.999.520$ Hz	

L'installation au sol

Les stations « VOR Doppler » (DVOR)

- Si la $v_m = +1.300$ m/s, $f_r = 110.000.480$ Hz
- Si la $v_m = -1.300$ m/s, $f_r = 109.999.520$ Hz
- Or ± 480 Hz correspond à l'excursion de fréquence de la sous-porteuse à 9 960 Hz.
- Donc, si nous faisons déplacer notre émetteur entre environ -1.300 m/s et $+1.300$ m/s, on crée un battement de fréquence correspondant à une modulation FM.
- Si l'émetteur à 110 MHz a une modulation AM à 9 960 Hz et qu'il « tourne » (effectue une période) 30 fois par seconde, nous obtenons ce dont nous avons besoin pour notre 30 Hz de référence.
- Toutefois, il faudra encore que sa vitesse de déplacement soit de 1 300 m/s ...

ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

L'installation au sol

Les stations « VOR Doppler » (DVOR)

- Nous avons vu que le cercle du réseau d'antennes de la balise DVOR a un **diamètre** d'environ **14 mètres**.
- Un **objet** circulant sur une **circonférence** de **14 mètres de diamètre** (rayon = 7 mètres) à raison de **30 rotations par seconde** aura une **vitesse tangentielle** égale à :

$$v_t = 30 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 7 \approx 1.319 \text{ m/s}$$
- Dès lors, en **ajustant** le **diamètre** du cercle du réseau d'antennes à la **valeur adéquate** en fonction de la **fréquence porteuse** entre 108,00 MHz et 117,95 MHz, nous obtiendrons le **30 Hz de référence** de la station DVOR.
- Quant au **30 Hz variable**, il est émis par **l'antenne centrale** de façon **omnidirectionnelle**.



ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

L'installation au sol

Les stations « VOR Doppler » (DVOR)

- Le **30 Hz de référence** est donc émis de façon **directionnelle** et le **30 Hz variable** est émis de façon **omnidirectionnelle**.
- C'est donc juste le **contraire** du C-VOR !
- Or il faut que les **deux types de balises** soient **compatibles** avec le **récepteur**, c'est à dire que la **valeur de la phase** est égale à la **valeur du déphasage** entre le **30 Hz VAR** et le **30 Hz REF**.
- Si rien n'est fait, le récepteur détectera un **déphasage à 180°** de la **valeur réelle** de la **phase**.
- Pour remédier à ce problème, le **sens de rotation** du **30 Hz de référence** est inversé (**signal rotatif antihoraire**).

ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

L'installation au sol

Les stations « VOR Doppler » (DVOR)

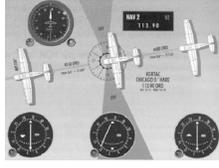


- Avantages** : moins sensible aux interférences, plus précis que le C-VOR et moins affecté par l'environnement.
- Inconvénients** : plus complexe à réaliser et plus encombrant que le C-VOR.
- Pour ces raisons, les **stations DVOR** sont préférées dans les **espaces aériens plus achalandés**.

ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

L'installation au sol

Le cône de silence



Lorsque l'aéronef survole la station, il se trouve dans le **cône de silence**. Il ne reçoit plus aucune information valide et le **drapeau rouge « NAV »** apparaît sur l'indicateur.

ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les antennes sur les aéronefs

Sur les avions

- Les **antennes VOR** servent également au **LOC**.
- Elles sont à **polarisation horizontale**.
- Elles sont, en général, installées sur les **dérives des avions**.



ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les antennes sur les aéronefs

Sur les hélicoptères

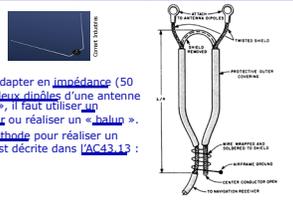
- En général, il s'agit de « **supports à serviettes** » installés sur la **poutre de queue**.



ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les antennes sur les aéronefs

Adaptation d'impédance

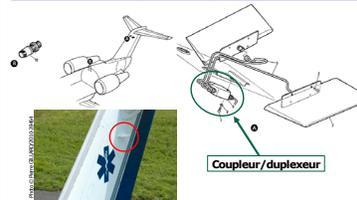


- Afin d'adapter en **impédance** (50 Ω) les **deux filiales** d'une antenne en « V », il faut utiliser un **coupleur** ou réaliser un « **balun** ».
- Une **méthode** pour réaliser un balun est décrite dans **l'AC43.13** :

ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les antennes sur les aéronefs

Adaptation d'impédance



Coupleur/duplexeur

ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les récepteurs VOR

- Il existe **différentes formes** de récepteurs :



Bus de données

Les récepteurs VOR

- En aviation générale, le récepteur VOR-ILS pourra être intégré avec un émetteur-récepteur COM, ou même avec un COM et un GPS.

Les récepteurs VOR

- Les récepteurs VOR sont combinés avec les récepteurs LOC.
- Ils utilisent les mêmes indicateurs.

Les récepteurs VOR

Schéma bloc

- Le signal VOR arrive à l'antenne (voir analyse spectrale).
- Le récepteur extrait les différentes composantes : le 30 Hz VAB et le 30 Hz REF modulant la sous-porteuse à 9 960 Hz en FM (identification à 1.020 Hz et le signal audio ne sont pas représentés sur ce schéma).
- Il s'agit du signal composite.
- Celui-ci s'en va au détecteur FM ainsi qu'au filtre et amplificateur du 30 Hz VAB.

Les récepteurs VOR

Schéma bloc

- Le discriminateur FM extrait le 30 Hz REF du signal composite.
- Le 30 Hz REF est ensuite déphasé par la valeur de l'OBS correspondant à la radiale sélectionnée (Variable Phase Shifter).
- Le 30 Hz REF est, par après, filtré et amplifié.
- Le signal est ensuite envoyé au comparateur de phase ainsi qu'au comparateur du drapeau « TO/FROM ».

Les récepteurs VOR

Schéma bloc

- Le 30 Hz VAB est extrait du signal composite par filtrage et est amplifié.
- Il est ensuite envoyé au comparateur de phase ainsi qu'à un déphaseur de 90°.
- La phase des deux ondes à 30 Hz est maintenant comparée.
- Si les deux ondes à 30 Hz sont en phase, aucune déviation n'est générée à la CDB.
- Si un déphasage est présent (écart de l'aéronef par rapport à la radiale), il doit être déterminé comme étant en avance ou en retard par rapport à la référence sélectionnée par OBS et déclencher la CDB en conséquence.

Les récepteurs VOR

Schéma bloc

- Si les deux ondes à 30 Hz sont présentes, le drapeau rouge « NAV » disparaît de la vue.
- Le 30 Hz VAB est déphasé de 90° afin de déterminer la zone d'incertitude (là où le changement se fait entre « TO » et « FROM »).
- Un résultat en phase donnera un « FROM ».
- Un résultat en opposition de phase donnera un « TO ».

Indicateurs et affichages

Le CDI

- Différents éléments constituent l'indicateur d'écart de route (Course Deviation Indicator) :
- ✓ CDB (Course Deviation Bar)
- ✓ Le sélecteur d'azimut - OBS (Omni Bearing Selector).
- ✓ Le disque d'azimut (lié au OBS - Omni Bearing Selector).
- ✓ L'indicateur TO/FROM.
- ✓ Le drapeau (« Flag ») de signal VOR.
- ✓ Le repère d'azimut.
- ✓ La graduation de déviation (1 point au « 20 » et « 40 »).

Indicateurs et affichages

Autres types d'indicateurs fonctionnant avec le VOR

- L'Horizontal Situation Indicator (HSI) combine les indications du VOR, du LOC, du GS et du gyroscopie directionnel (HDG) :

Indicateurs et affichages

Autres types d'indicateurs fonctionnant avec le VOR

- Le Radio Magnetic Indicator (RMI) permet d'indiquer le rivelement (direction) d'une station ADF ou VOR sur un gyroscopie directionnel :

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Indicateurs et affichages

Déviations de la CDB

- Peu importe le type d'indicateur, analogique ou électronique, la déviaton maximale de l'aiguille de part et d'autre représente 10° selon la recommandation DO-196 du RTCA.
- Pour les indicateurs disposant de 5 dots de chaque côté, la déviaton de l'aiguille représente donc 2°/dot.



ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Indicateurs et affichages

Le drapeau

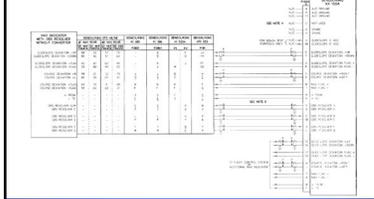


- En cas de dysfonctionnement (disparition d'une composante du signal VOR), le drapeau rouge « NAV » apparaît.
- Lorsque le signal VOR est valide, le drapeau indiquera « TO » ou « FROM », soit en toutes lettres, soit sous forme de flèches vers le haut pour « TO » ou vers le bas pour « FROM ».
- Il existe une zone d'incertitude lors du passage de « TO » à « FROM » ou le contraire (80° à 100° par rapport à la radiale).

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Indicateurs et affichages

Exemple d'installations d'indicateurs (King KX165A)



ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Indicateurs et affichages

- Exercice #1** : sur le HSI suivant (on suppose le système fonctionnel, pas de drapeaux) :
 - 1a.** Quelle est la valeur du cap de l'aéronef ?
 - 1b.** Quelle radiale (OBS) le pilote a-t-il sélectionné ?
 - 1c.** L'aéronef est-il en éloignement ou en rapprochement ?
 - 1d.** Réalisez un croquis de situation.
- Exercice #2** : un pilote a sélectionné « 050 » sur son OBS pour une station se situant devant lui. L'avion suit un cap 065. La CDB dévie de deux marques (dots) à droite. Sur quelle radiale se trouve-t-il ?



ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Indicateurs et affichages

- Exercice #3** : sur le EHSI suivant (système EFIS) :
 - 3a.** Sur quelle radiale du VOR 1 se trouve l'aéronef (déflexion de 10° de la CDB) ?
 - 3b.** Quel est le cap de l'aéronef ?
 - 3c.** Quelle route a été sélectionnée sur le VOR 1 ?
 - 3d.** Quelle route a été sélectionnée sur le VOR 2 ?
 - 3e.** L'aéronef est-il en rapprochement ou en éloignement par rapport au VOR 1 ?
 - 3f.** Réalisez un croquis de situation.



ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les problèmes et limitations



- Le cône de silence au-dessus de la station (dû au type de rayonnement de l'antenne directionnel/horizontal).
- Les risques de dédoublement de signal par réflexion des ondes (multipath signal).
- Influence du relief (montagnes, vallées, etc.).
- Balise émettrice hors tolérances (besoin d'ajustements).
- Erreur de lecture ou d'interprétation de l'utilisateur.

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Vérification et calibration des balises au sol

- La gestion des stations au sol est assurée par NAV Canada.
- Afin d'assurer la calibration des balises au sol (VOR, ILS, NDB, DME, ...), NAV Canada utilise des avions dits « de calibration ».



ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Tests des systèmes VOR embarqués

- Un test en piste (Ramp Test) ou au hangar peut être effectué pour vérifier et certifier les systèmes VOR.
- Le travail sera certifié par un ACA et une entrée sera inscrite au carnet de route de l'aéronef (log book entry).
- En atelier, le technicien effectuera un test de performances.
- Celui-ci sera certifié par un SCA qui rédigera un bon de sortie autorisée « Form One ».



ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Étude de l'indicateur KING K1209

Présentation

- L'indicateur K1208 n'a pas d'indication Glideslope au contraire du K1209.
- Indications en lien avec le VOR :



- Aiguille d'écart latéral (CDB-Course Deviation Bar) 2°/dot
- Drapeau NAV/TO/FROM (Flag)
- Sélecteur d'azimut (OBS-Omni Bearing Selector)

Le reste est dédié au GS.

Étude de l'indicateur KING K1209

Présentation

- Nous avons vu dans l'analyse de la LOC que le **convertisseur** est placé dans les **indicateurs K1208 et K1209**.
- Nous avons vu également que la **liaison** entre le récepteur et l'indicateur consiste en un seul fil blindé « **VOR/LOC COMPOSITE** » et un fil « **ILS ENERGIZE** ».

Étude de l'indicateur KING K1209

Présentation

Étude de l'indicateur KING K1209

Connexions du convertisseur

- Ce qui est en lien avec le VOR :

Étude de l'indicateur KING K1209

Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

- Le rôle de l'**étage tampon d'entrée (Input Buffer)** est d'assurer une **adaptation d'impédance** grâce au transistor **Q201**.
- Après **Q201**, le **signal composite** est **scindé** en deux.
- Un **chemin** (par **L201**) se rend au **circuit** organisé autour de **d1201** et de **Q211** qui assure les fonctions de **limiteur** et de **discriminateur (détecteur) FM** pour le **30 Hz REF**.
- L'**autre chemin** se rend au **filtre** du **30 Hz VAR** par **TP202**.

Étude de l'indicateur KING K1209

Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

- R203** permet d'**ajuster** la **déflexion** de la **CDP** en jouant sur l'**amplitude** du **signal composite**, donc aussi du **30 Hz VAR**.
- Le **limiteur** est constitué de **Q211**, **CR209** et **R204**.
- Il a pour but d'**éliminer** toute **modulation d'amplitude** du signal composite.
- Ainsi, le **signal FM** constitué du **9.960 Hz** modulé par le **30 Hz REF** est **assuré** avant de rentrer dans le **circuit discriminateur**.

Étude de l'indicateur KING K1209

Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

- Le **discriminateur FM L201** est constitué d'une **boucle à verrouillage de phase (PLL)**.
- La **PLL fonctionne** pour autant qu'**aucune tension** ne soit appliquée à la **borne 5** (d1201), ce qui est le cas en l'absence d'une **masse** sur « **ILS ENERGIZE** ».

Étude de l'indicateur KING K1209

Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

- Si **aucun signal** n'est appliqué à la **borne 14** d1201, le **VCO** intégré dans L201 ne **changera pas de fréquence**.
- Dans ce cas, on pourra **mesurer 9.960 Hz** aux **bornes 3 et 4** « **VCO OUT** » d1201 (TP207).
- La **fréquence du VCO** est déterminée par les **valeurs de R205, R206, R202 et C206**.
- Cette **fréquence du VCO** peut être **ajustée** avec **R207**.

Étude de l'indicateur KING K1209

Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

- Lorsqu'un **signal FM** est appliqué à la **borne 14** d1201, le **VCO** est forcé de suivre la **déviaton de fréquence** (± 480 Hz).
- Le **détecteur de phase** échantillonne le **signal d'entrée** pour le **comparer** avec la **fréquence du VCO**.
- Le résultat donne le **30 Hz REF** qui est **filtré** par **R208** et **C205**.
- Le **30 Hz REF** filtré sort d1201, par la **borne 10** (« **DEMOD OUTPUT** ») et peut être mesuré à **TP203**.

Étude de l'indicateur KING K1209

Sélection VOR-LOC

- Lorsqu'**aucune masse** n'est appliquée sur **ILS ENERGIZE** (synchronisation d'une fréquence VOR) **d1201** est **bloquée**.
- Ceci a pour effet de **baisser** **Q204**, **Q205**, **Q206** et **Q207**.
- « **ILS HIGH** » (TP201) est maintenu à un **bas niveau**.

Étude de l'indicateur KING KI209

Filtres 30 Hz

- Les signaux **30 Hz REF** et **30 Hz VAR** passent chacun dans leur filtre **admi** respectif.
- R233** permet d'**ajuster** la phase du filtre **30 Hz REF** afin que les deux signaux à **30 Hz** soient **en phase** lorsque la valeur de la **radiale** reçue correspond à la **sélection de l'OBS**.

Étude de l'indicateur KING KI209

Filtres 30 Hz

- Le filtre **30 Hz REF** « **nettoie** » le signal sortant du **discriminateur FM** :

Étude de l'indicateur KING KI209

Filtres 30 Hz

- À noter que le filtre **30 Hz VAR** élimine la **composante à 5 960 Hz** du signal composite alors que le filtre **30 Hz REF** a déjà une onde à **30 Hz**.

Étude de l'indicateur KING KI209

L'OBS – Omni Bearing Selector

- Le **réglage de l'OBS** s'effectue grâce à la **résistance R101** :

Étude de l'indicateur KING KI209

L'OBS – Omni Bearing Selector

- La résistance **R101** est aussi appelée « **SINE/COSINE POT** ».
- Elle est **ajustée** comme **cap** :

- On imagine les **deux branches** du pont alimentées par des **signaux identiques**, mais en **opposition de phase**.
- Lorsque l'OBS est à **90°**, les signaux présents aux **deux curseurs** sont **identiques et en phase**.
- Lorsque l'OBS est à **0°**, les signaux présents aux **deux curseurs** sont en **opposition de phase**.

Étude de l'indicateur KING KI209

L'OBS – Omni Bearing Selector

- La **sortie** du filtre **30 Hz REF** est le « **SINE/COS POT HIGH** » de **R101** (OBS).
- L'ampli **2202C** est à **gain unitaire** et a pour objectif d'**inverser** la phase du **30 Hz REF**.
- Sa sortie est le « **SINE/COS POT LO** » de **R101** (OBS).
- Le **30 Hz VAR** n'intervient pas dans le **réglage de l'OBS**.

Étude de l'indicateur KING KI209

L'OBS – Omni Bearing Selector

- O208** et **O209** sont montés en **ametteur suivier** afin d'avoir une **impédance élevée** pour éviter de charger **R101**.
- C210**, **R241** et **R242** permettent d'effectuer une **somme vectorielle** des **deux signaux** provenant de **O208** et **O209** :

$$\vec{v}_{OBS} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Vc = Volt sur C (branche de Q209)
Vb = Volt sur B (branche de Q208)

Étude de l'indicateur KING KI209

L'OBS – Omni Bearing Selector

- Voici les **signaux** que l'on peut observer aux **bornes de O208** et **O209** selon les différentes **sélections de l'OBS** (**R101**) :

L'amplitude change en fonction de la sélection de l'OBS.

Étude de l'indicateur KING KI209

L'OBS – Omni Bearing Selector

- R241** sera **ajusté** de manière à ce que la **somme de R241 et R242** aura la **même valeur** que la **résistance de C210** à **30 Hz**.
- Le **vecteur Vm** résultant de la **somme vectorielle de v1 et dv1** aura toujours la **même amplitude**.
- À **T2026**, nous obtenons donc le **30 Hz REF déphasé** de la **consigne de l'OBS** (**R101**).

Étude de l'indicateur KING KI209
L'OBS - Omni Bearing Selector

• O210 a pour but de transformer le 30 Hz REF en un signal carré.

Étude de l'indicateur KING KI209
Déviation de la CDB

• Il s'agit d'un **ampli suiveur** agissant comme **source de tension** pour la **déflexion de la CDB**.

Étude de l'indicateur KING KI209
Déviation de la CDB

• Le 30 Hz VAR arrive à la **borne 5** d'1301C.
• 1301C va donc **échantillonner** le 30 Hz VAR lors de chaque **niveau bas** du signal carré 30 Hz REF.

Étude de l'indicateur KING KI209
Déviation de la CDB

• La résistance **R312** et le condensateur **C305** ont pour rôle de « **lisser** » la **tension** présente à la **borne 5** d'1301C.
• Il s'agit donc d'une **tension moyenne** pouvant être **supérieure à 4.15 VDC**, égale à 4.15 VDC ou **inférieure à 4.15 VDC**, ceci dépendant de la **différence de phase** entre les deux signaux à 30 Hz.

Étude de l'indicateur KING KI209
Déviation de la CDB

• 1302B est un **ampli suiveur** agissant comme **source de tension** pour la **déflexion de la CDB**.

Étude de l'indicateur KING KI209
Drapeau « NAV/TO/FROM »

• 1302D est un **ampli** créant un **déphasage de 90°** du signal 30 Hz VAR destiné au contrôle du **drapeau**.
• Le signal 30 Hz VAR déphasé est ensuite **échantillonné** par 1301D lors des **niveaux bas** du signal carré 30 Hz REF.

Étude de l'indicateur KING KI209
Drapeau « NAV/TO/FROM »

• La résistance **R308** et le condensateur **C304** ont pour rôle de « **lisser** » la **tension** présente à la **borne 11** d'1301D.

Étude de l'indicateur KING KI209
Drapeau « NAV/TO/FROM »

• Il s'agit donc d'une **tension moyenne** pouvant être **supérieure à 4.15 VDC**, égale à 4.15 VDC ou **inférieure à 4.15 VDC**, ceci dépendant de la **différence de phase** entre les deux signaux à 30 Hz.
• 1302E est l'**ampli suiveur** contrôlant le **drapeau**.

Étude de l'indicateur KING KI209
Drapeau « NAV/TO/FROM »

• Selon la **tension** présente à la **borne 3** d'1302A (V_A) :

$V_A > 4.5 V$	⇒ drapeau « FROM »
$V_A = 4.5 V$	⇒ drapeau rouge « NAV »
$V_A < 4.5 V$	⇒ drapeau « TO »

