



© Pierre GILLARD/2024-PG1000968

## Le radiophare omnidirectionnel VOR

### Avant de débiter le cours ...



**Merci !**

## Présentation du cours



Photo : Canadair

- 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



© Pierre GILLARD/2013-220131

- 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 DME ou un TACAN.
- Une station est identifiée par un indicatif 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 :



Le récepteur



L'indicateur



L'antenne

- 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 :

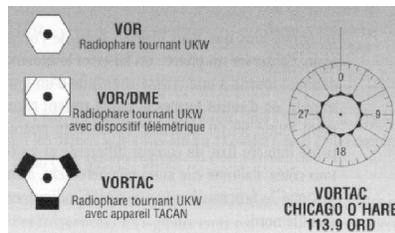


YUL MONTREAL VOR/DME	
MONTREAL, CANADA	
<b>Location</b>	
Lat/Long:	45-36-56.113N / 073-58-15.680W
Elevation:	200 ft.
Variation:	16W (1985)
<b>Operational Characteristics</b>	
Type:	VOR/DME
Class:	VOR/DME [about]
Frequency:	116.30
TACAN channel:	110X
Hours of operation:	24
Voice:	no
Station call name:	NONE

## Description du VOR (rappel)

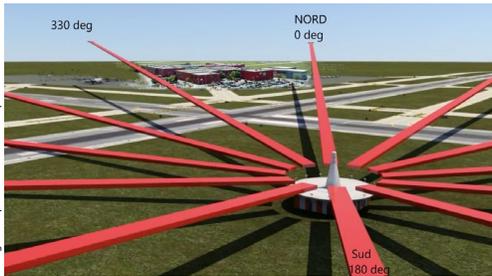
### Présentation

- Souvent, une station VOR sera associée à un DME (*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

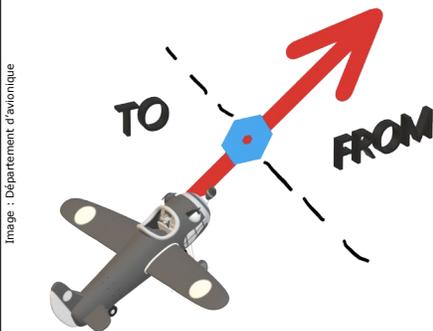


- La radiale est le relèvement magnétique de l'aéronef mesuré à partir de la station VOR.
- Les pilotes utilisent aussi les termes QDM (de l'aéronef vers la station) et QDR (le contraire).

- 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 :

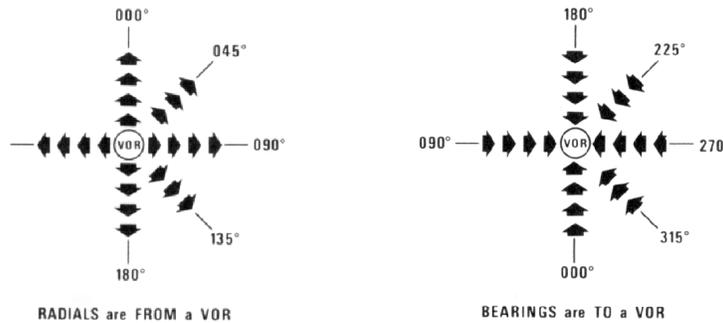
- ✓ **FROM** : correspond à la radiale sur laquelle l'aéronef se trouve.
- ✓ **TO** : correspond à la radiale opposée à celle sur laquelle l'aéronef se trouve.

- 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 » ?

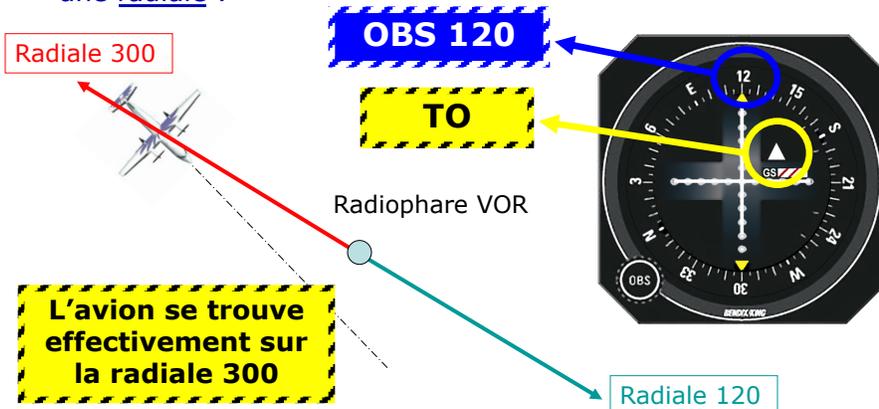
- Une radiale « s'éloigne » de la station.
- Elle représente un « FROM ».
- La radiale opposée représente un « TO ».



## Utilisation du VOR (rappel)

### Fonction

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



**ÉNA** ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE  
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPÉRIÉ

## Utilisation du VOR (rappel)

### Fonction

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

Radiale 300

OBS 120

TO

Radiophare VOR

L'avion se trouve effectivement sur la radiale 294

Radiale 120

6°

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Pierre GILLARD, Bombardier & Bendix King

**ÉNA** ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE  
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPÉRIÉ

## Utilisation du VOR (rappel)

### Fonction

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

Radiale 300

OBS 300

FROM

Radiophare VOR

L'avion se trouve effectivement sur la radiale 300

Radiale 120

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Pierre GILLARD, Bombardier & Bendix King

**ÉNA** ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE  
COLLEGE EDUARD MONTPETIT

## Utilisation du VOR (rappel)

### Fonction

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ÉNA** ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE  
COLLEGE EDUARD MONTPETIT

## Utilisation du VOR (rappel)

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

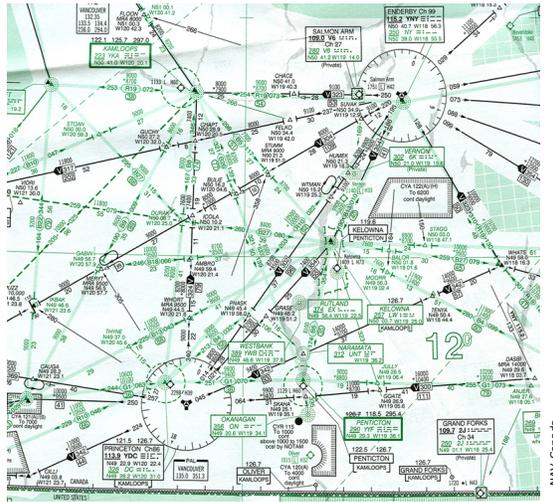
- Le VOR indiquera uniquement la valeur de la radiale ou de son opposée, mais **pas** le cap de l'aéronef.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

## Utilisation du VOR (rappel)

### Utilisation des radiophares VOR pour les routes aériennes

Carte « En Route  
Low Altitude »



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## 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

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## 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 :

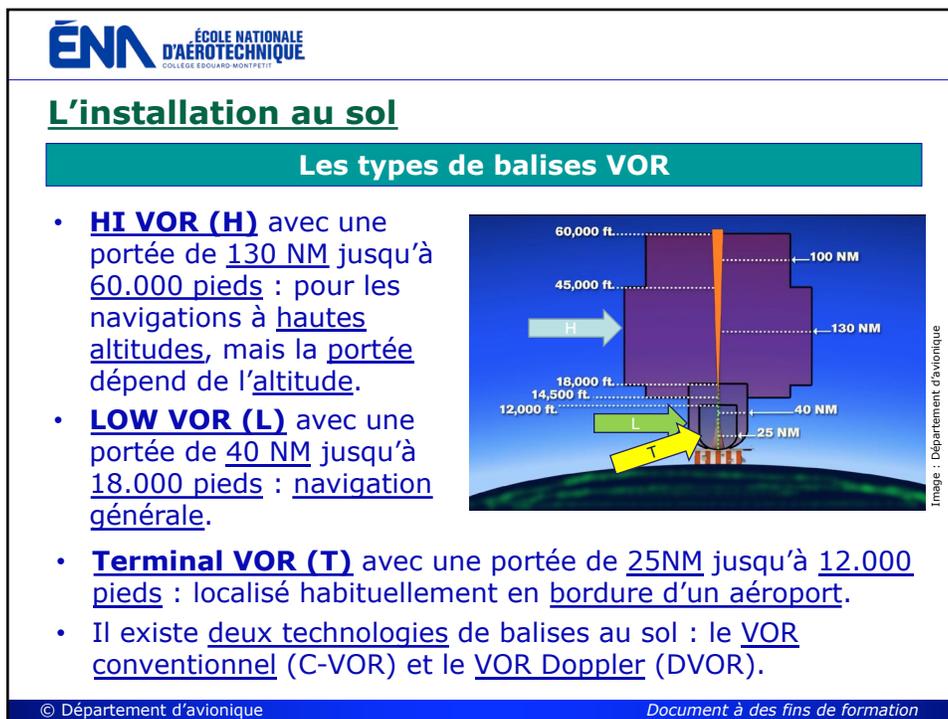
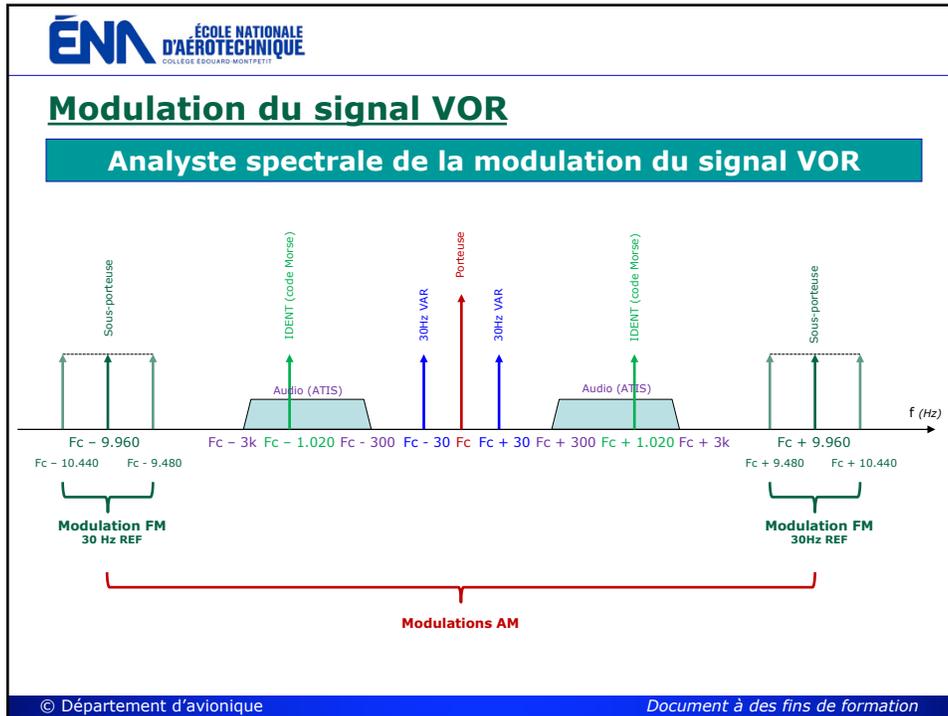
**De 108.00 MHz à 112.00 MHz, les canaux VOR occupent les fréquences au dixième de mégahertz pair.**

**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**

## 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 9.960 Hz et un indice de modulation de 16 (excursion de fréquence de ± 480 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 récepteur devra informer le pilote à l'aide d'un drapeau signifiant le dysfonctionnement du signal VOR.



## L'installation au sol

### Les stations « VOR conventionnel »

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



© Pierre GILLARD/2009-00123

## L'installation au sol

### Les stations « VOR conventionnel »

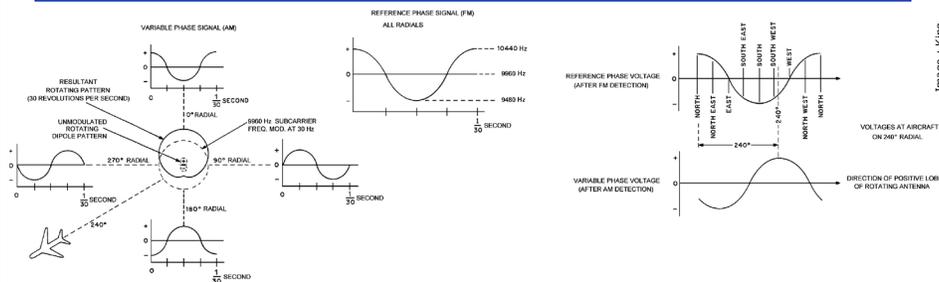


Image : King

Au niveau de la balise VOR

Au niveau du récepteur VOR

- Les signaux de 30 Hz de référence modulé en FM avec une sous-porteuse à 9.960 Hz et de 30 Hz variable modulé en AM sont émis par deux émetteurs distincts.

## L'installation au sol

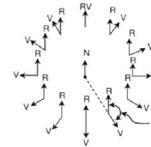
### Les stations « VOR conventionnel »

- Une station au sol « VOR conventionnel » (C-VOR) émet simultanément deux porteuses de même fréquence :

- ✓ **Rayonnement omnidirectionnel** : modulation FM à 30 Hz de référence (R) avec une sous-porteuse à 9.960 Hz modulée 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 différence entre les phases des deux ondes à 30 Hz afin de déterminer la radiale survolée.



## 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  $f_{em}$  et un autre capte la fréquence reçue  $f_{rec}$ , cette dernière dépend des vitesses relatives des deux mobiles  $v_{em}$  et  $v_{rec}$  selon la relation suivante :

$$f_{rec} = \frac{c - v_{rec}}{c - v_{em}} \cdot f_{em} = \frac{1 - (v_{rec}/c)}{1 - (v_{em}/c)} \cdot f_{em}$$

- Si seul l'émetteur est mobile par rapport au récepteur ( $v_{rec}=0$ ):

$$f_{rec} = \frac{c}{c - v_{em}} \cdot f_{em} = \frac{1}{1 - (v_{em}/c)} \cdot f_{em}$$

- 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 :



© Pierre GILLARD/2010-21915

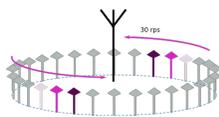
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## L'installation au sol

### Les stations « VOR Doppler » (DVOR)

Image : Dépt. d'avionique



- 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 opposée 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 :

$$\text{Si la } v_{em} = + 1.300 \text{ m/s, } f_{rec} = 110.000.480 \text{ Hz}$$

$$\text{Si la } v_{em} = - 1.300 \text{ m/s, } f_{rec} = 109.999.520 \text{ Hz}$$

Fréquence de battement de 480 Hz

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## L'installation au sol

### Les stations « VOR Doppler » (DVOR)

Si la $v_{em} = + 1.300 \text{ m/s}$ , $f_{rec} = 110.000.480 \text{ Hz}$	} Fréquence de battement de 480 Hz
Si la $v_{em} = - 1.300 \text{ m/s}$ , $f_{rec} = 109.999.520 \text{ Hz}$	

- Or  $\pm 480 \text{ Hz}$  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 ...

## 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 :

$$v_t = 30 * 2 * \pi * 7 = 1.319 \text{ m/s}$$

- 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.

## 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 radiale 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 radiale.
- Pour remédier à ce problème, le sens de rotation du 30 Hz de référence est inversé (signal rotatif antihoraire).



## L'installation au sol

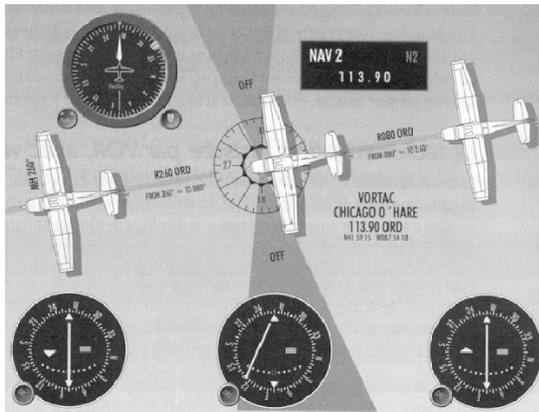
### Les stations « VOR Doppler » (DVOR)



- ✓ **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.

## 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.**

## 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.



## Les antennes sur les aéronefs

### Sur les hélicoptères

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



© Département d'avionique

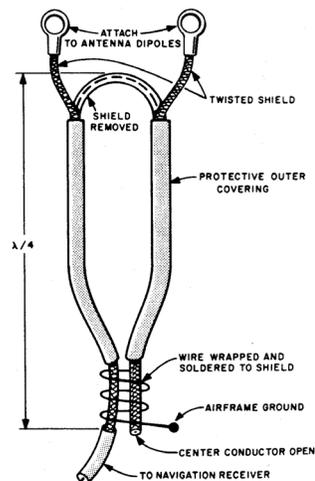
Document à des fins de formation

## Les antennes sur les aéronefs

### Adaptation d'impédance



- Afin d'adapter en impédance ( $50 \Omega$ ) les deux dipôles 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 :



AC43.13

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

**ÉNA** ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE  
COLLEGE EDOUARD MONTFRETIT

## Les antennes sur les aéronefs

### Adaptation d'impédance

Photo © Pierre GILLARD/201.0-28464

Bombardier

**Coupleur/duplexeur**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ÉNA** ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE  
COLLEGE EDOUARD MONTFRETIT

## Les récepteurs VOR

- Il existe différentes formes de récepteurs :

Bus de données

Bendix King

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE**  
COLLEGE EDOUARD MONTFRETIT

## 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 :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE**  
COLLEGE EDOUARD MONTFRETIT

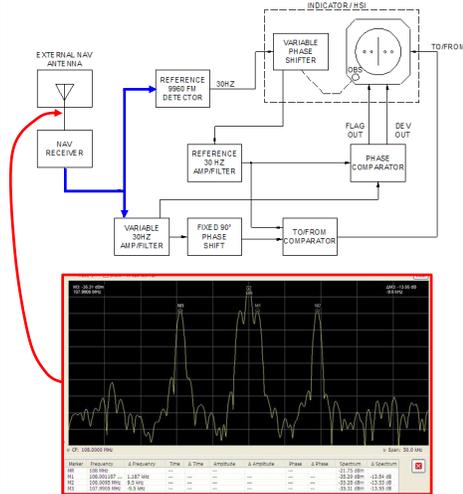
## Les récepteurs VOR

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

## Les récepteurs VOR

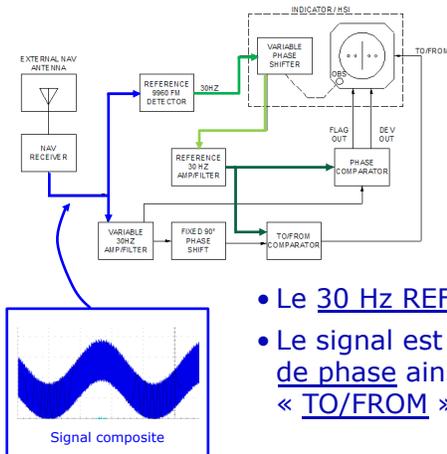
### Schéma bloc



- Le signal VOR arrive à l'antenne (voir analyse spectrale).
- Le récepteur extrait les différentes composantes : le 30 Hz VAR et le 30 Hz REF modulant la sous-porteuse à 9.960 Hz en FM (l'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 VAR.

## Les récepteurs VOR

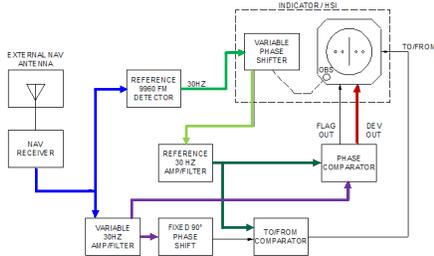
### Schéma bloc



- Le discriminateur FM extrait le 30 Hz REF du signal composite.
- Le 30Hz 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

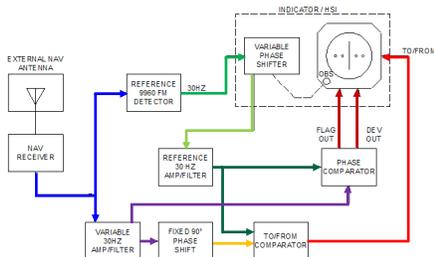


- Le 30 Hz VAR est extrait du signal composite par filtrage et est amplifié.
- Il est ensuite envoyé au comparateur de phase ainsi qu'à un déphaseur de 90°.
- La phase des deux ondes à 30 Hz est maintenant comparée.

- 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 déplacer 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 VAR 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 (réglé avec l'OBS - *Omni Bearing Selector*).
- ✓ L'indicateur TO/FROM.
- ✓ Le drapeau (« Flag ») de signal VOR.
- ✓ Le repère d'azimut.
- ✓ La graduation de déviation (1 point ou « Dot » = 2°).

## 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 gyroscope directionnel (HDG) :



## Indicateurs et affichages

### Autres types d'indicateurs fonctionnant avec le VOR

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



## Indicateurs et affichages

### Déviations de la CDB

- Peu importe le type d'indicateur, analogique ou électronique, la déviations 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 déviations de l'aiguille représente donc 2° /dot.



## Indicateurs et affichages

### Le drapeau



Images : Département d'avionique

- En cas de dysfonctionnement (disparition d'une composante du signal VOR), le drapeau rouge « NAV » apparaîtra.
- 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).

## Indicateurs et affichages

### Exemple d'installations d'indicateurs (King KX165A)

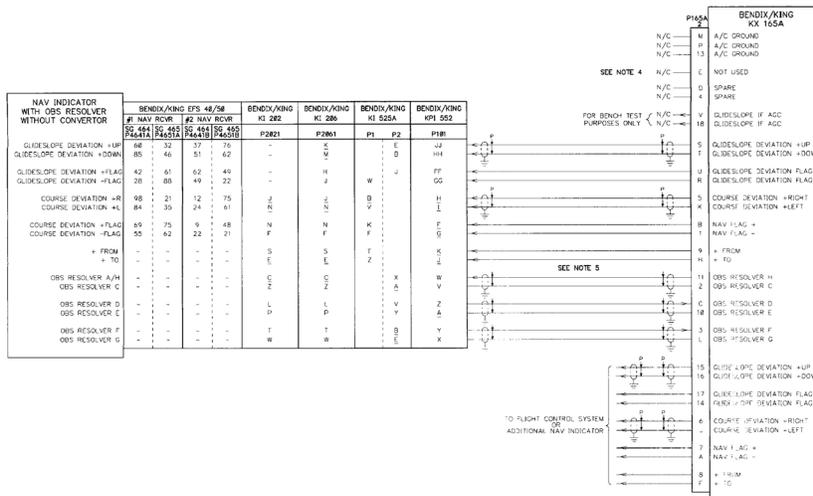


Image : King

## Indicateurs et affichages

- Exercice # 1 : sur le HSI suivant (on suppose le système fonctionnel, pas de drapeaux) :



Bendix King

- 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 ?

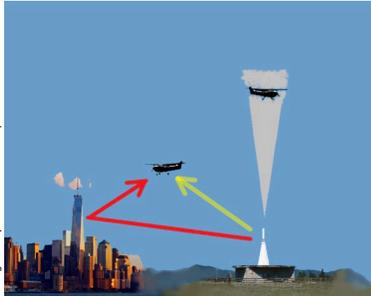
## Indicateurs et affichages

- 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.

## 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 dédoublent de propagation 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.

## 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 ».



## 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 ».

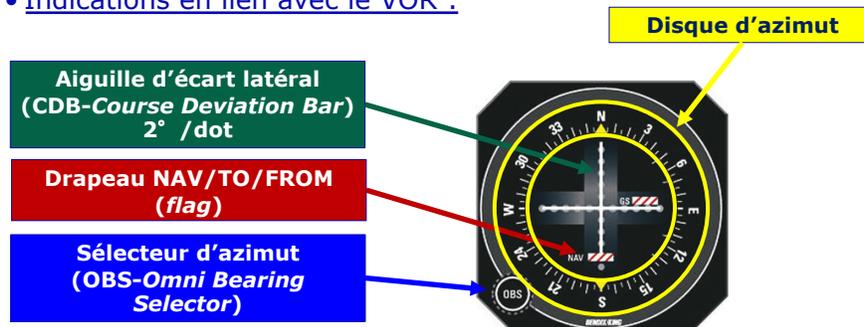


Aeroflex & IFR

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Présentation

- L'indicateur KI208 n'a pas d'indication Glideslope au contraire du KI209.
- Indications en lien avec le VOR :



- Le reste est dédié au GS.

Image : King & Département d'avionique

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Présentation

- Nous avons vu dans l'analyse du LOC que le convertisseur est placé dans les indicateurs KI208 et KI209.
- 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 ».

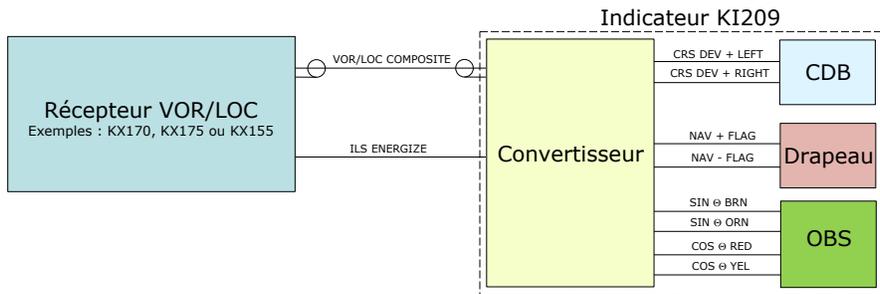
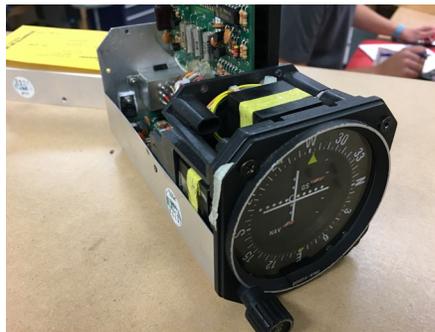


Image : Département d'avionique

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Présentation

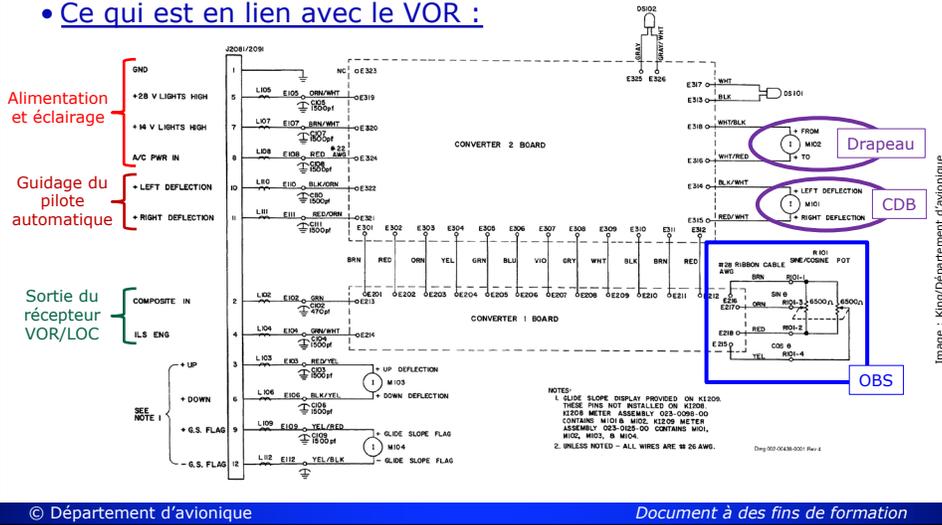


Photos © Frédéric MORIN

## Étude de l'indicateur KING KI209

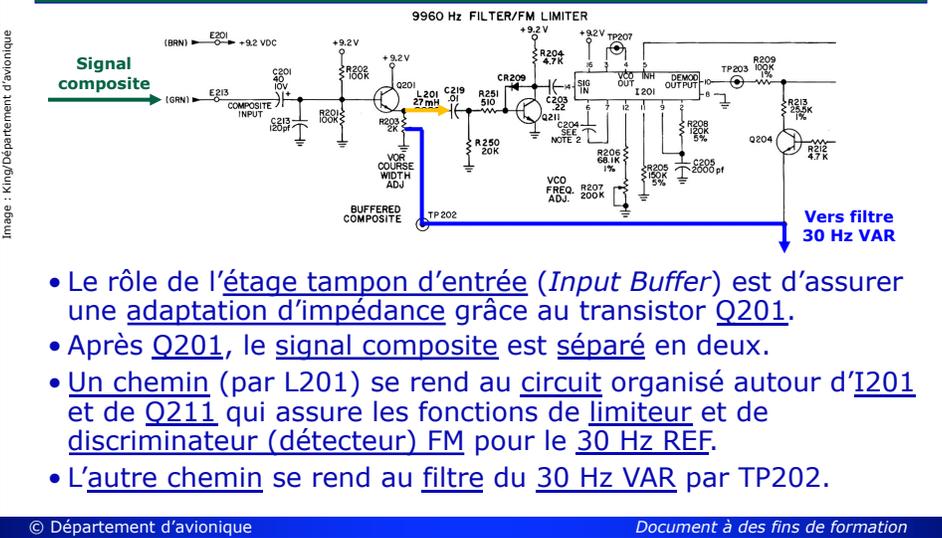
### Connexions du convertisseur

- Ce qui est en lien avec le VOR :



## Étude de l'indicateur KING KI209

### Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

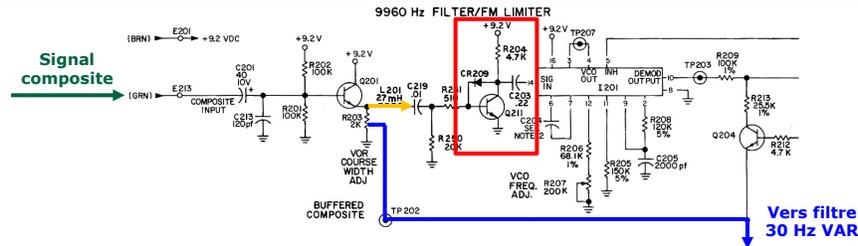


- Le rôle de l'étage tampon d'entrée (*Input Buffer*) est d'assurer une adaptation d'impédance grâce au transistor Q201.
- Après Q201, le signal composite est séparé en deux.
- Un chemin (par L201) se rend au circuit organisé autour d'I201 et de Q211 qui assure les fonctions de limiteur et de discriminateur (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 KI209

### Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

Image : King/Département d'avionique



- R203 permet d'ajuster la déflexion de la CDB 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 épuré avant de rentrer dans le circuit discriminateur.

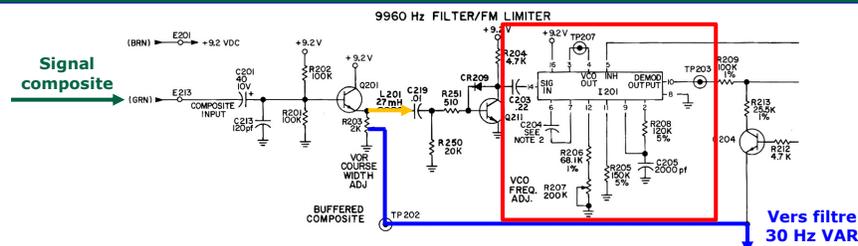
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

Image : King/Département d'avionique



- Le discriminateur FM I201 est constitué d'une boucle à verrouillage de phase (PLL).
- La PLL fonctionnera pour autant qu'aucune tension ne soit appliquée à la borne 5 d'I201, ce qui est le cas en l'absence d'une masse sur « ILS ENERGIZE ».

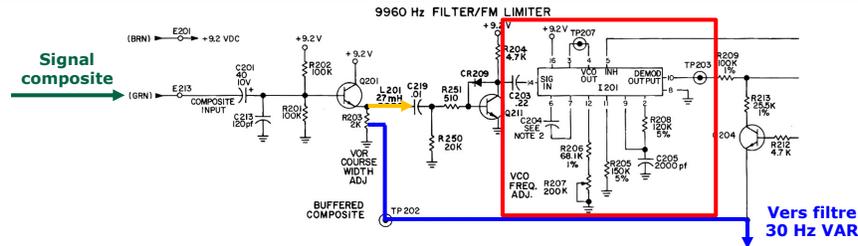
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

Image : King/Département d'avionique



- Si aucun signal n'est appliqué à la borne 14 d'I201, le VCO intégré dans I201 ne changera pas de fréquence.
- Dans ce cas, on pourra mesurer 9.960 Hz aux bornes 3 et 4 « VCO OUT » d'I201 (TP207).
- La fréquence du VCO est déterminée par les valeurs de R205, R206, R207 et C204.
- Cette fréquence du VCO peut être ajustée avec R207.

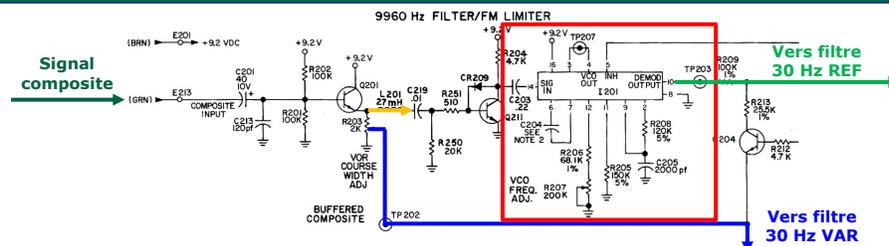
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Étage d'entrée et filtre/discriminateur FM

Image : King/Département d'avionique



- Lorsqu'un signal FM est appliqué à la borne 14 d'I201, le VCO est forcé de suivre la déviaton de fréquence ( $\pm 480$  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 d'I201 par la borne 10 (« DEMOD OUTPUT ») et peut être mesuré à TP203.

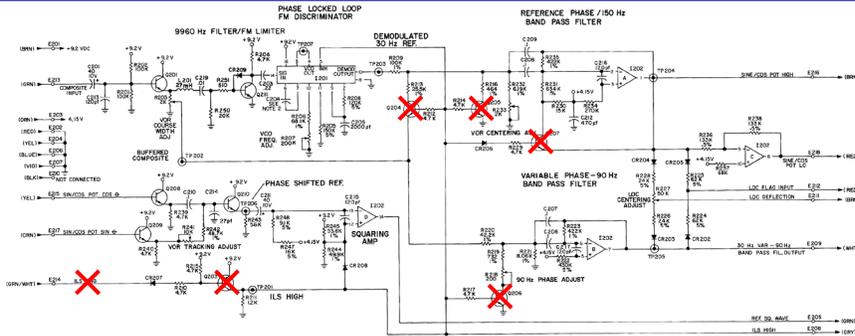
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Sélection VOR-LOC

Image : King/Département d'avionique



- Lorsqu'aucune masse n'est appliquée sur ILS ENERGIZE (synthonsation d'une fréquence VOR), Q203 est bloqué.
- Ceci a pour effet de bloquer Q204, Q205, Q206 et Q207.
- « ILS HIGH » (TP201) est maintenu à un bas niveau.

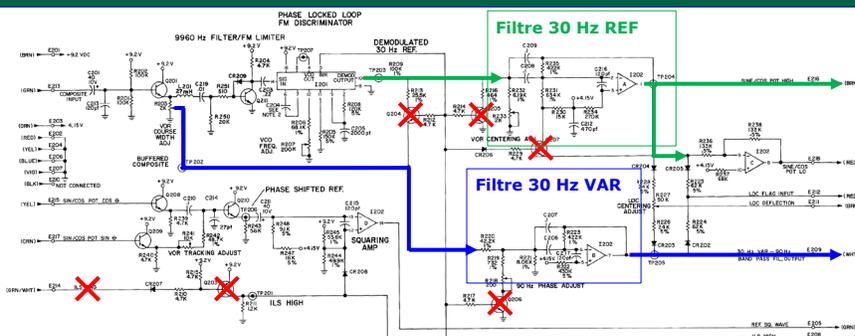
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Filtres 30 Hz

Image : King/Département d'avionique



- Les signaux 30 Hz REF et 30 Hz VAR passent chacun dans leur filtre actif 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.

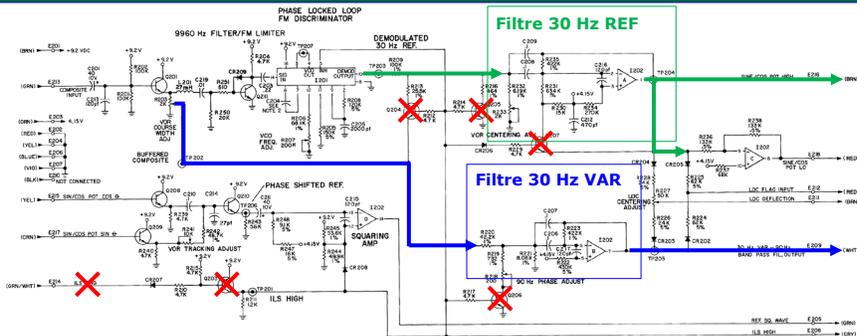
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

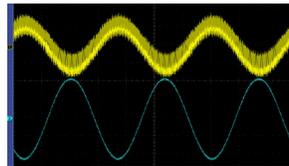
## Étude de l'indicateur KING KI209

### Filtres 30 Hz

Image : King/Département d'avionique



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



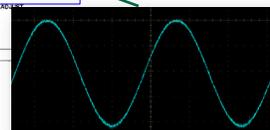
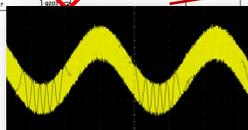
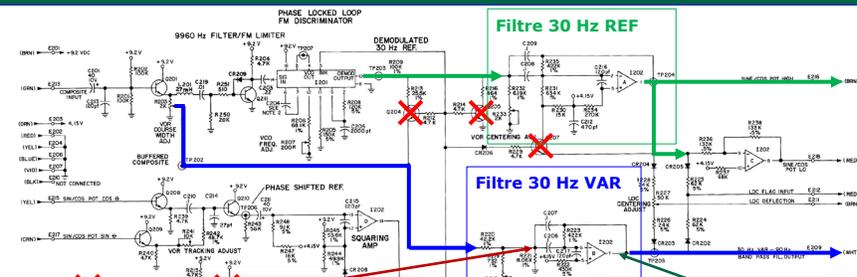
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Filtres 30 Hz

Image : King/Département d'avionique



- À noter que le filtre 30 Hz VAR élimine la composante à 9.960 Hz du signal composite alors que le filtre 30 Hz REF a déjà une onde à 30 Hz.

© Département d'avionique

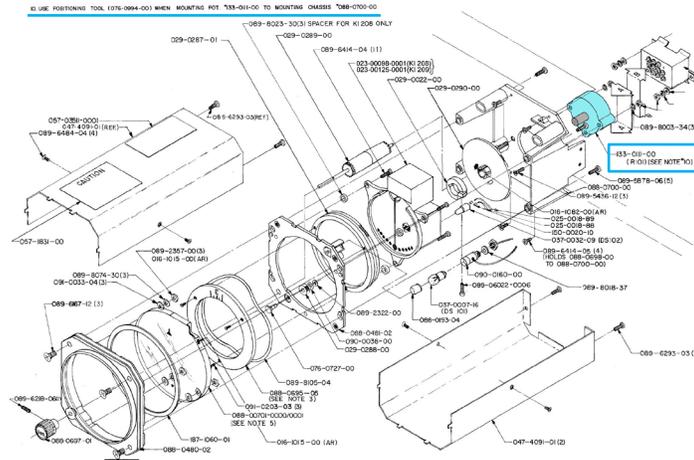
Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### L'OBS – Omni Bearing Selector

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

Image : King/Département d'avionique



© Département d'avionique

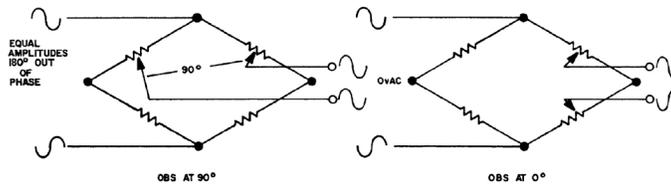
Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### L'OBS – Omni Bearing Selector

- La résistance R101 est aussi appelée « SINE/COSINE POT ».
- Elle est organisée comme ceci :

Image : King/Département d'avionique



- 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.

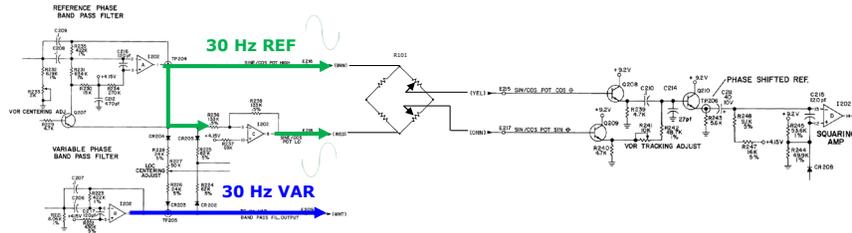
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### L'OBS – Omni Bearing Selector

Image : King & Département d'avionique

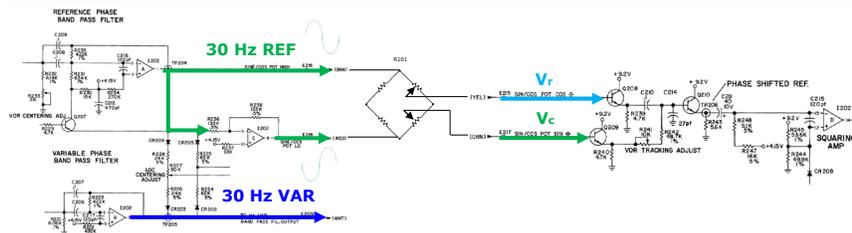


- La sortie du filtre 30Hz REF est le « SINE/COS POT HIGH » de R101 (OBS).
- L'ampli I202C est à gain unitaire et a pour objectif d'inverser la phase du 30 Hz REF.
- Sa sortie est le « SINE/COS POT LO » de R101 (OBS).
- Le 30 Hz VAR n'intervient pas dans le réglage de l'OBS.

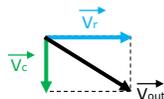
## Étude de l'indicateur KING KI209

### L'OBS – Omni Bearing Selector

Image : King & Département d'avionique



- Q208 et Q209 sont montés en émetteur suiveur 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 Q208 et Q209 :



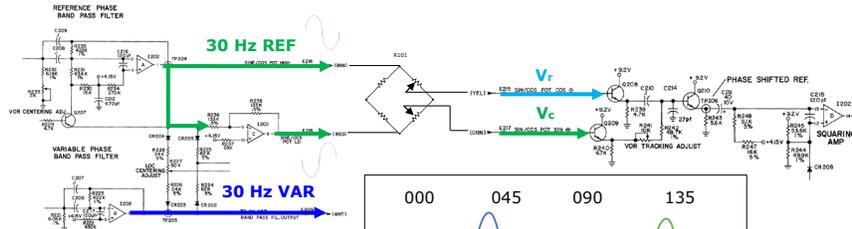
$$\vec{v}_{OUT} = \vec{v}_c + \vec{v}_R$$

$V_c = V_{out} \sin \theta$  (branche de Q209)  
 $V_r = V_{out} \cos \theta$  (branche de Q208)

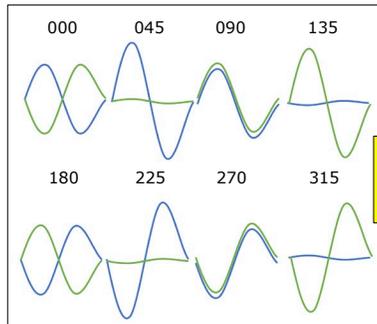
## Étude de l'indicateur KING KI209

### L'OBS – Omni Bearing Selector

Image : King & Département d'avionique



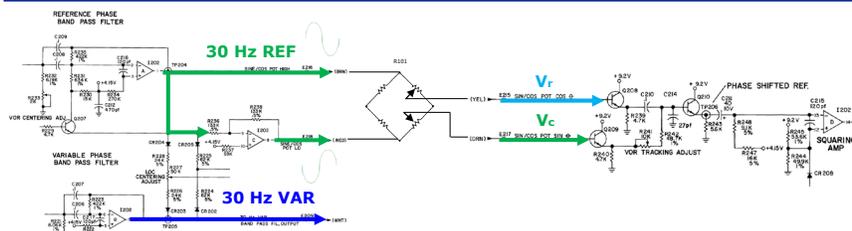
- Voici les signaux que l'on peut observer aux bases de Q208 et Q209 selon les différentes sélections de l'OBS (R101):



## Étude de l'indicateur KING KI209

### L'OBS – Omni Bearing Selector

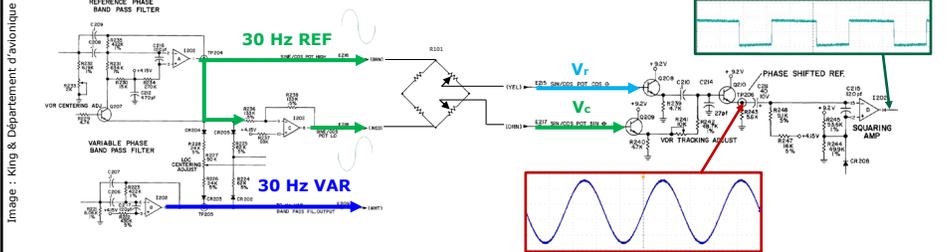
Image : King & Département d'avionique



- R241 sera ajustée de manière à ce que la somme de R241 et R242 aura la même valeur que la réactance de C210 à 30 Hz.
- Le vecteur  $V_{out}$  résultant de la somme vectorielle de  $V_r$  et de  $V_c$  aura toujours la même amplitude.
- À TP206, 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

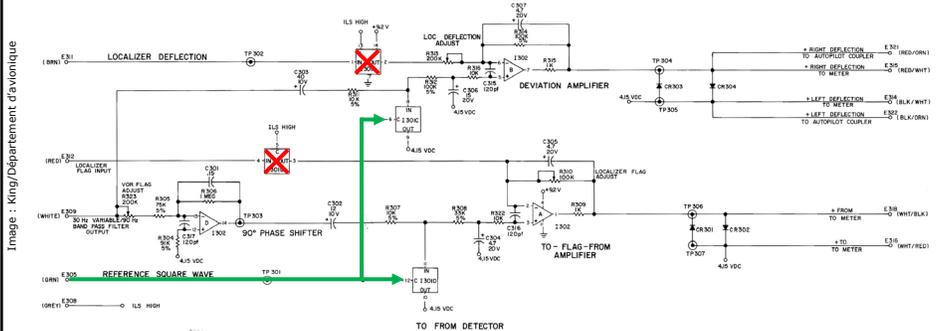


- Q210 a pour but de transformer le 30 Hz REF en un signal carré.



## Étude de l'indicateur KING KI209

### Déviator de la CDB



- ILS HIGH étant à un niveau bas, ceci a pour effet de rendre les portes I301A et I301B bloquantes pour leur signal respectif.
- Par contre, les portes I301C et I301D vont être passantes lorsque le signal carré du 30 Hz REF sera à l'état « haut ».

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Déviation de la CDB

Image : King/Département d'avionique

- Le 30 Hz VAR arrive à la borne 8 d'I301C.
- I301C va donc échantillonner le 30 Hz VAR lors de chaque niveau bas du signal carré 30 Hz REF.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

## Étude de l'indicateur KING KI209

### Déviation de la CDB

Image : King/Département d'avionique

- La résistance R312 et le condensateur C306 ont pour rôle de « lisser » la tension présente à la borne 8 d'I301C.
- 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.

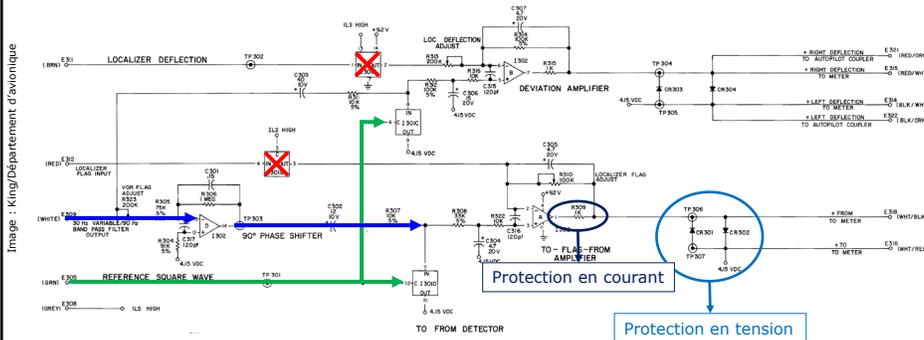
© Département d'avionique Document à des fins de formation





## Étude de l'indicateur KING KI209

### Drapeau « NAV/TO/FROM »



- Selon la tension présente à la borne 3 d'I302A ( $V_{in}$ ) :

$V_{in} > 4,5 \text{ V}$	⇒	drapeau « FROM »
$V_{in} = 4,5 \text{ V}$	⇒	drapeau rouge « NAV »
$V_{in} < 4,5 \text{ V}$	⇒	drapeau « TO »



© Pierre GILLARD/2024-PGI.000953

**Merci de votre attention**