

Radio Navigation

INTRODUCTION

Qu'est-ce que la radionavigation ?

La radionavigation est un type de navigation utilisant les propriétés des ondes radioélectriques.

Elle nécessite des équipements extérieurs à l'avion, généralement des émetteurs placés au sol, et des équipements embarqués à bord de l'aéronef, des récepteurs « intelligents », à disposition du pilote.

Radio Navigation

INTRODUCTION

A quoi sert-elle ?

La radionavigation permet de :

- définir ou confirmer une position et
- de réaliser une navigation sans avoir besoin de référence visuelle.

Pourquoi l'enseigner ?

En aviation légère, la navigation s'effectue principalement à vue. Des techniques de navigation à vue sont enseignées.

Il est toutefois utile voire nécessaire de savoir comment et quand utiliser les moyens de radionavigation pour :

- ✓ confirmer une position ;
- ✓ rechercher sa position après s'être perdu ;
- ✓ naviguer de nuit pour ceux qui feront du vol de nuit ;
- ✓ voler et naviguer au-dessus des nuages (navigation ON-TOP).

Radio Navigation

INTRODUCTION

Objectifs du cours

A la fin de ce cours, vous serez capable :

- de discuter sur :
 - les ondes électromagnétiques, leurs propriétés, les gammes de fréquences ;
 - les différents instruments d'aide à la navigation, leurs limites d'utilisation, les erreurs, leurs pannes ;
- de comprendre les notions de radionav et le vocabulaire associé ;
- de vous positionner par rapport à une balise émettrice ;
- de répondre aux questions des examens PPL et BIA.

Radio Navigation

PLAN

Quelques notions sur l'onde radio

Caractéristiques physiques

Gammes de fréquences

Propagation et les interférences

Antennes

Les informations délivrées aux pilotes

Relèvements

Gisements

Les aides à la navigation

GONIO

VOR

DME

ILS

ADF

GPS

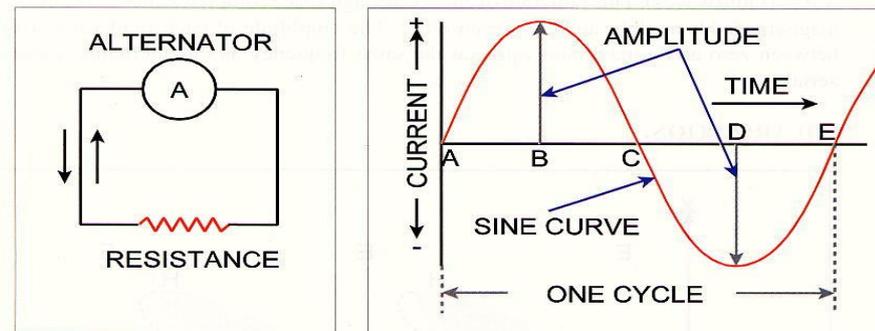
RADAR

Radio Navigation

ONDES RADIO

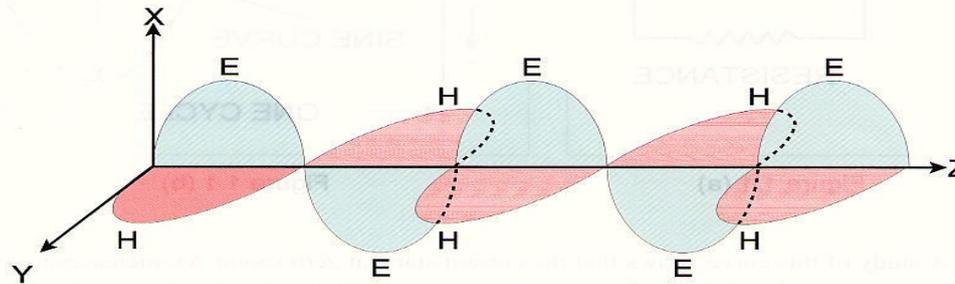
Caractéristiques Physiques

ONDE : vague magnétique produite par un Courant Alternatif diffusé par une antenne qui se propage à la vitesse de la lumière (300 000 km/s).



La vague peut être verticale ou horizontale (**Polarisation**) selon l'orientation de l'antenne.

Verticale pour les communications vocales
Horizontale pour les moyens de navigations



Radio Navigation

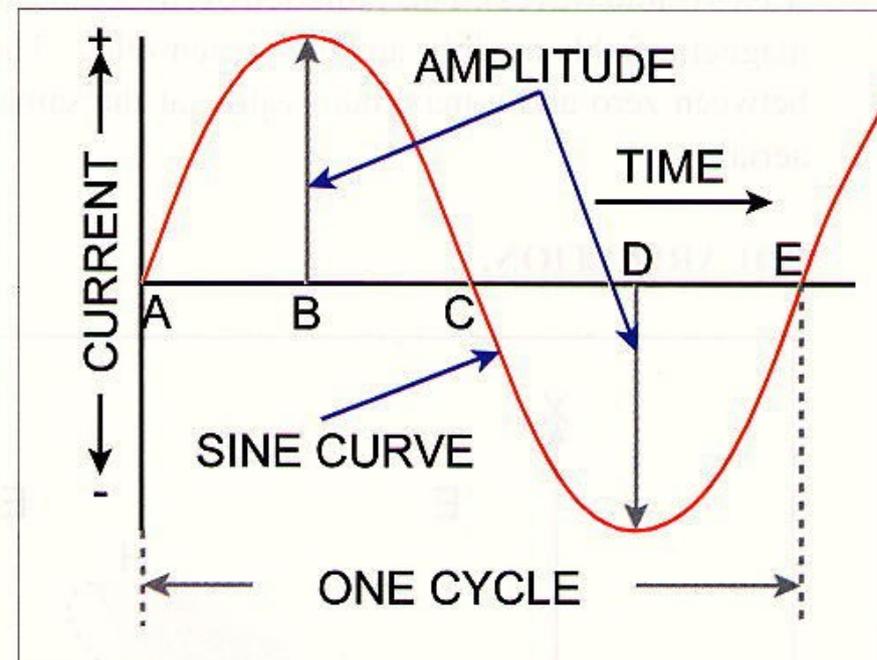
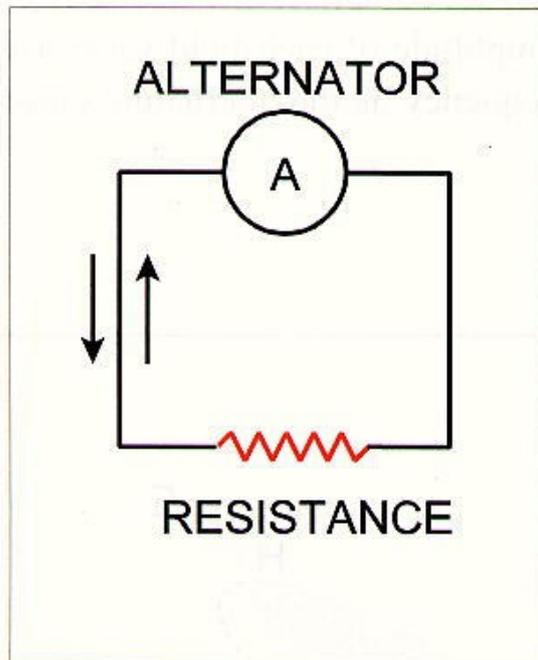
ONDES RADIO

Caractéristiques Physiques

Cycle :

- **Période (T)** : durée d'un cycle
- **Fréquence (Fx)** : Nb cycles par seconde (unité : Hz = 1cycle/s)
 $F_x = 1/T$ et $T = 1/F_x$
- **Longueur d'onde (λ)** : distance d'un cycle

Amplitude :



Radio Navigation

ONDES RADIO

Caractéristiques Physiques

Les unités de fréquences

Unité : Hertz

1 Hz = 1 cycle par seconde

Kilohertz (kHz) = 1.000 Hz = 10^3 Hz

Megahertz (MHz) = 1.000.000 Hz = 10^6 Hz

Gigahertz (GHz) = 10^9 Hz

Terahertz (THz) = 10^{12} Hz

Radio Navigation

ONDES RADIO

Caractéristiques Physiques

Tableau de fréquences

Frequencies	Frequency Band	Wavelength	Facilities
3-30 kHz	VLF (Very Frequency) Low	100 km - 10 km	Very long range navigation .
30-300 kHz	LF (Low Frequency)	10 km - 1km	Decca, NDB, Loran -C, long/medium wave broadcasting stations (B/S).
300-3,000 kHz	MF (Medium Frequency)	1 km - 100 metres	NDB, B/S Radio Range.
3 - 30 MHz	HF (High Frequency)	100 metres-10 metres	HF R/T
30 - 300 MHz	VHF (Very High Frequency)	10 metres -1 metre	VHF R/T, VDF, VOR, marker beacons, ILS.
300 - 3,000 MHz	UHF (Ultra High Frequency)	1 metre -10 cm	ILS Glidepath, DME, some Surveillance Radar.
3 - 30 Ghz (3,000 - 30,000 MHz)	SHF (Super High Frequency)	10 cm -1 cm	Precision Approach Radar (PAR), some Surveillance Radar, Doppler, Airborne Weather Radar (AWR), Radio Altimeter.
30 - 300 GHz	EHF (Extremely High Frequency)	1 cm -1 mm	Airfield Surface Movement Radar, experimental radar.

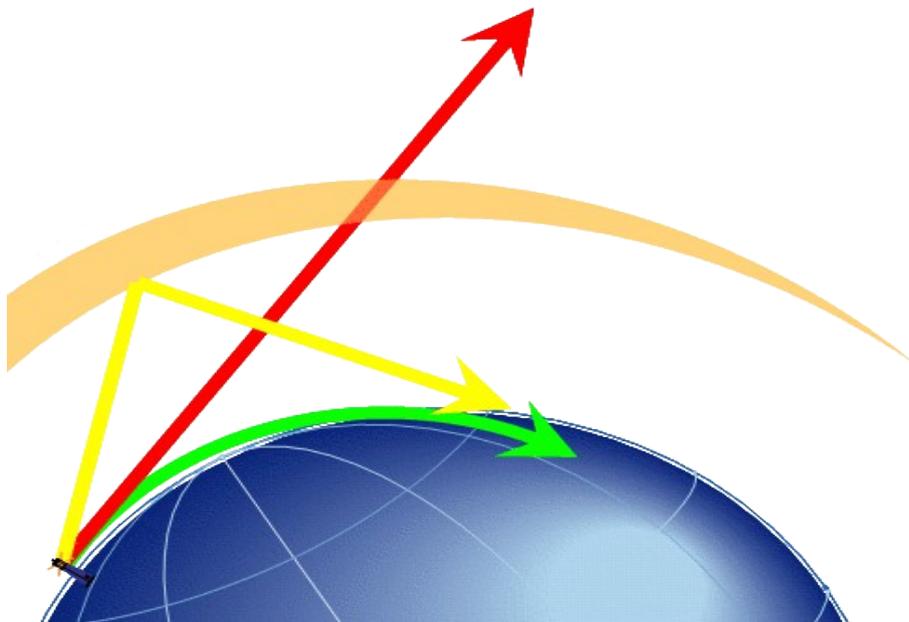
Radio Navigation

ONDES RADIO

Propagation

Types de propagations :

- onde de sol (**Groundwave**)
- onde de ciel (**Skywave**)
- onde d'espace (**Spacewave**) ou onde directe



Radio Navigation

ONDES RADIO

Propagation

Anomalies de propagation :

- **atténuation** : perte de puissance avec la distance et absorption (terre, atmosphère ; couches ionosphère)
- **réfraction** : changement de direction (qq °) due au changement de densité de l'environnement. Index de réfraction. Passage de côtes ; température, pression, humidité de l'air.
- **Diffraction** : changement de direction due à un obstacle physique. Différent en fonction de la fréquence.
- **Réflexion** : changement de direction sur une surface.
- **Fading** : Décalage entre les phases initiales

Radio Navigation

ONDES RADIO

Les ondes directes VHF et UHF

Distance de propagation :

$$R_{Max} \approx 1,25 \frac{3}{2} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})$$



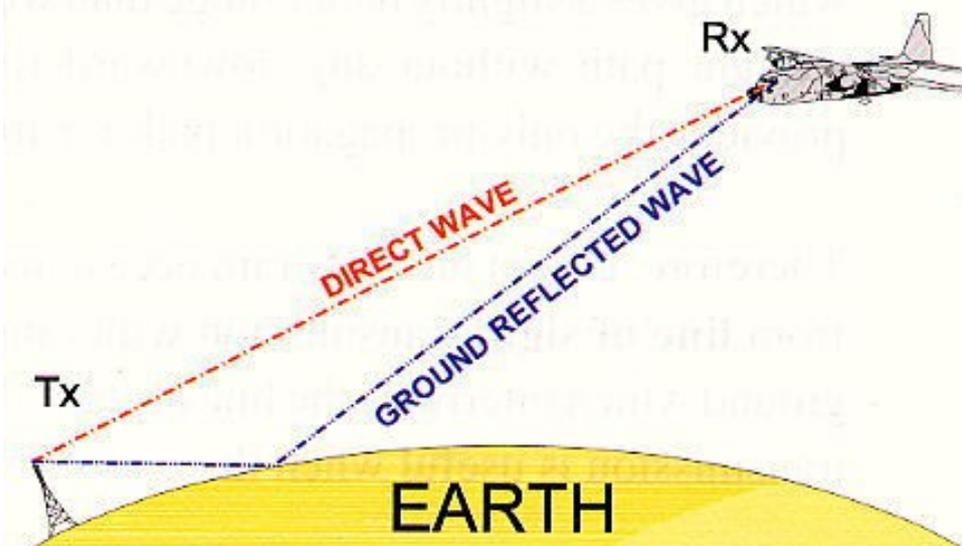
La courbure de la terre limite l'utilisation des ondes

Soumises à des possibilités de réflexion sur le sol provoquant des pertes de signal.

Fonction de :

- hauteur antenne
- hauteur avion
- fréquence

PORTEE OPERATIONNELLE



Radio Navigation

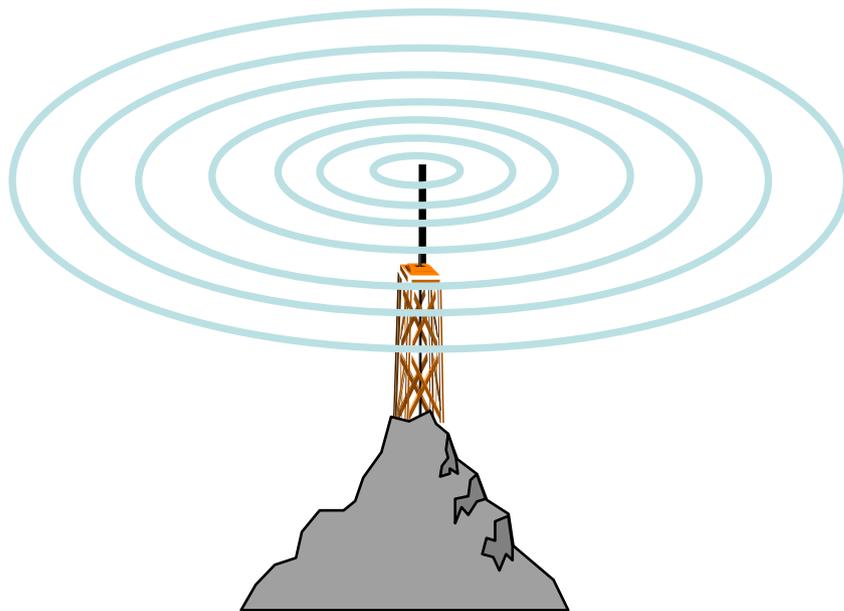
ANTENNES

Une antenne transforme l'énergie électrique d'un courant en énergie électromagnétique rayonnante.

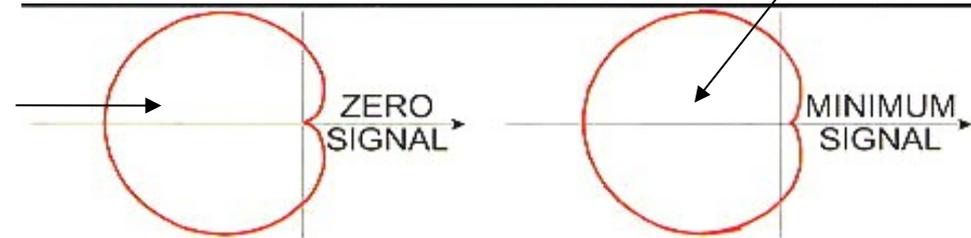
Il existe des antennes d'émission et des antennes de réception.

Pour être efficace, il faut que ces antennes soient de même type.

Une antenne se caractérise par son diagramme de rayonnement.

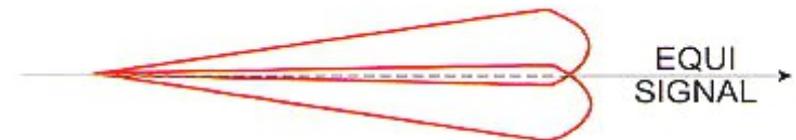


ADF



CARDIROID

LIMACON

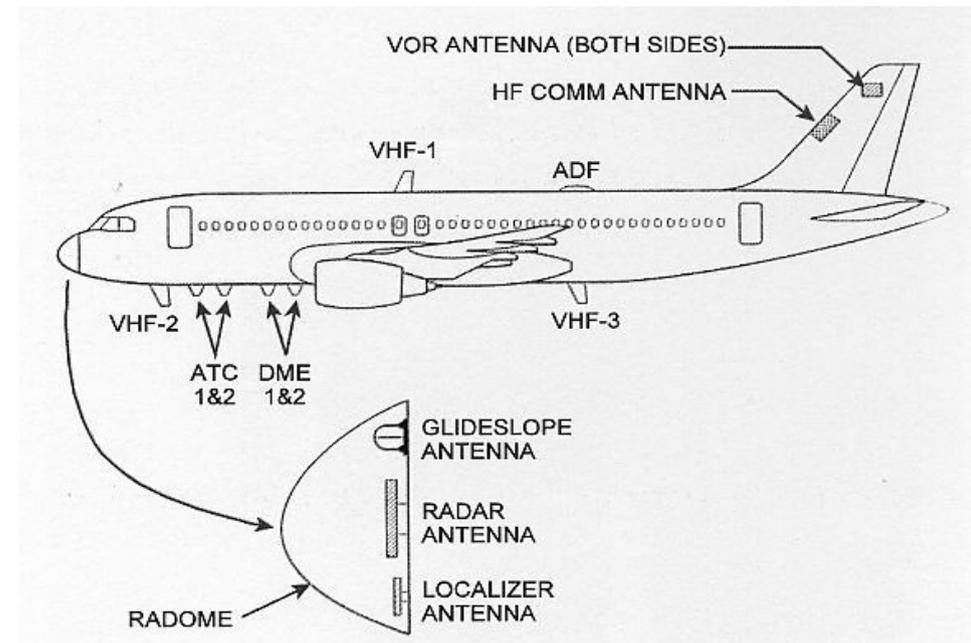
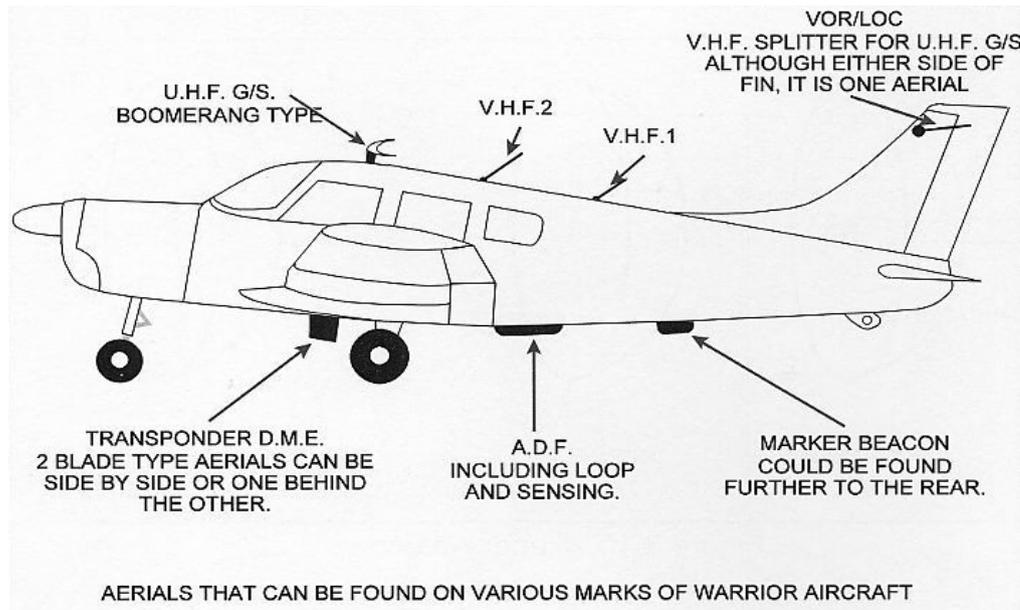


ILS LOCALISER LOBES

Radio Navigation

ANTENNES

Il existe différentes formes d'antennes embarquées chacune dédiée à une fonction.



Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

A SUIVRE : LES INFORMATIONS FOURNIES AU PILOTE

Radio Navigation

NOTIONS ANGULAIRES

- QDR ?
- QDM ?
- RELEVEMENT ?
- GISEMENT ?

Angles particuliers qui sont lus ou calculés en vol par le pilote

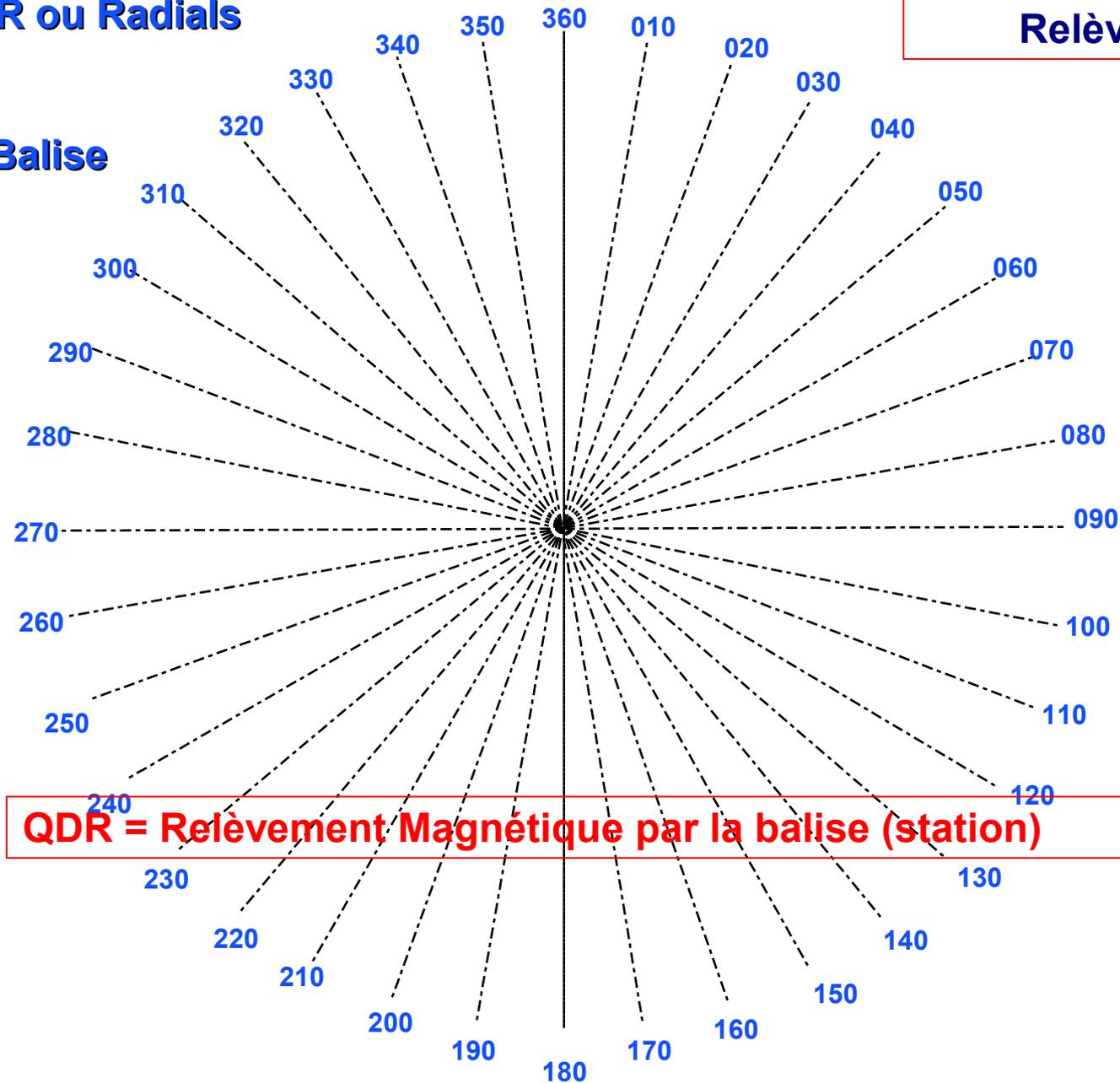
Servent à se repérer par rapport à une balise

Radio Navigation

NOTIONS ANGULAIRES

Rose des QDR ou Radials

Référence = Balise



Relèvements

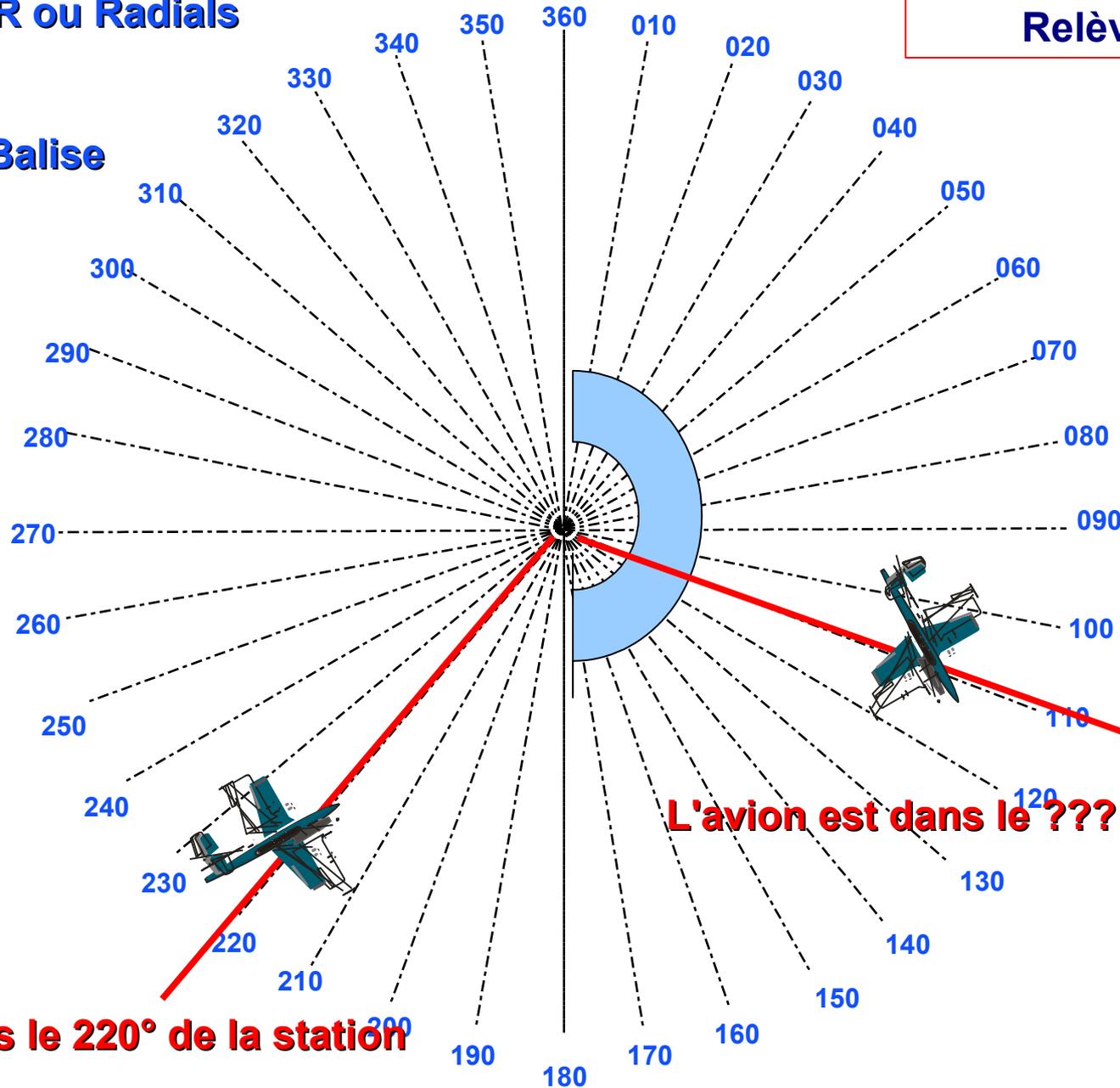
Radio Navigation

NOTIONS ANGULAIRES

Rose des QDR ou Radials

Référence = Balise

Relèvements



L'avion est dans le 220° de la station

L'avion est dans le ??? ° de la station

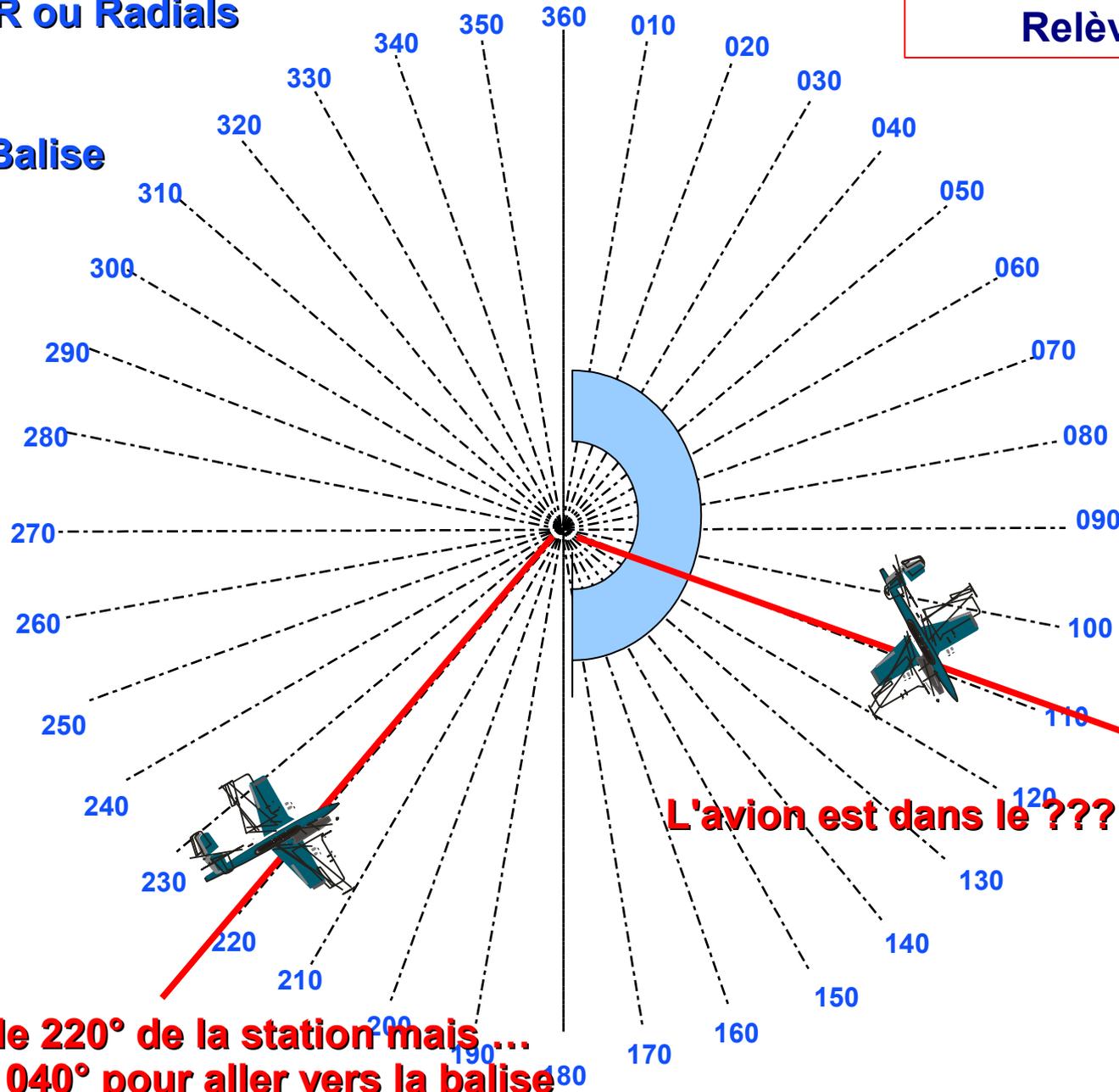
Radio Navigation

NOTIONS ANGULAIRES

Rose des QDR ou Radials

Référence = Balise

Relèvements



L'avion est dans le ??? ° de la station

L'avion est dans le 220° de la station mais...
Doit voler au cap 040° pour aller vers la balise

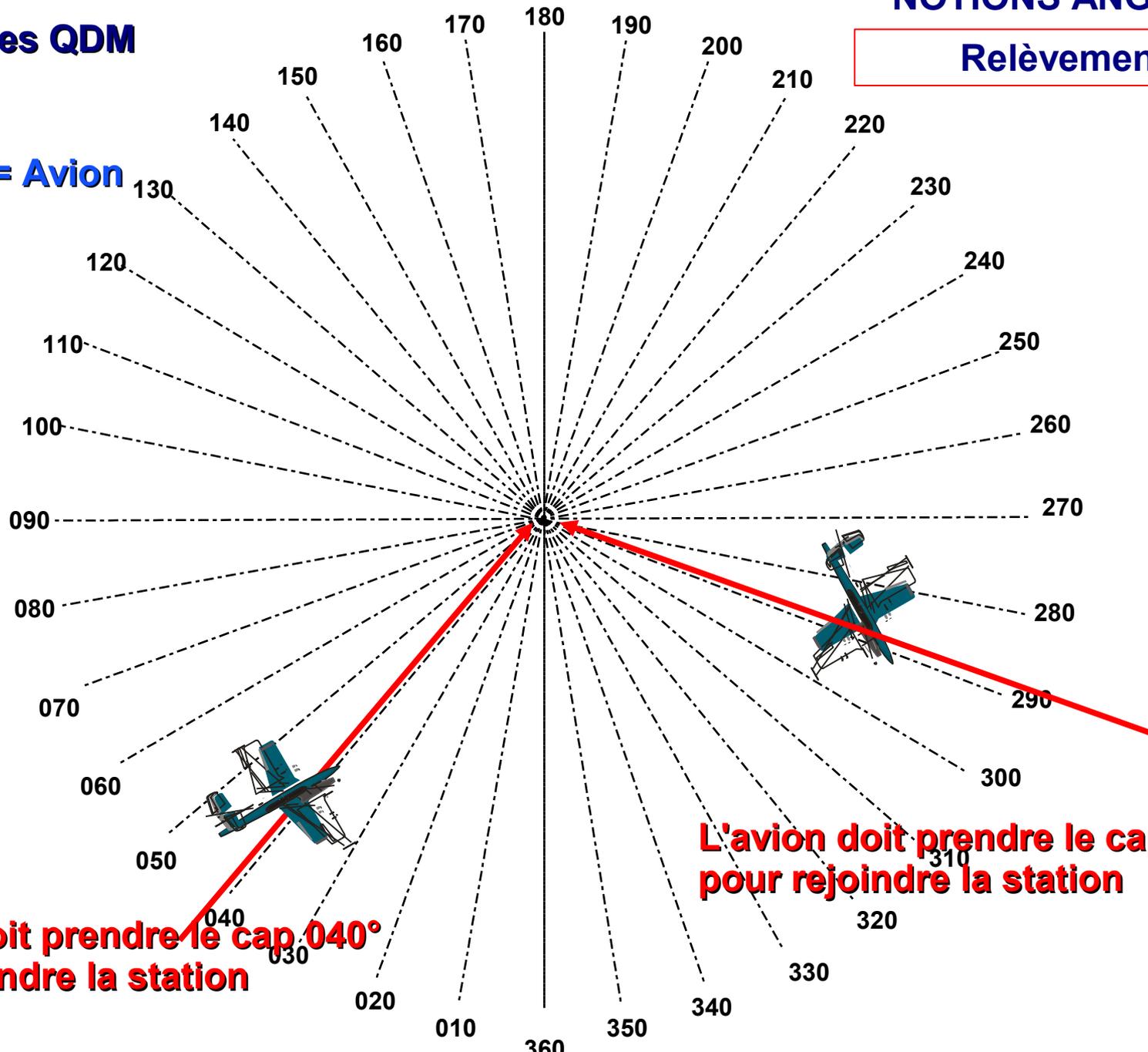
Radio Navigation

NOTIONS ANGULAIRES

Relèvements

Rose des QDM

Référence = Avion



**L'avion doit prendre le cap 040°
pour rejoindre la station**

**L'avion doit prendre le cap ???°
pour rejoindre la station**

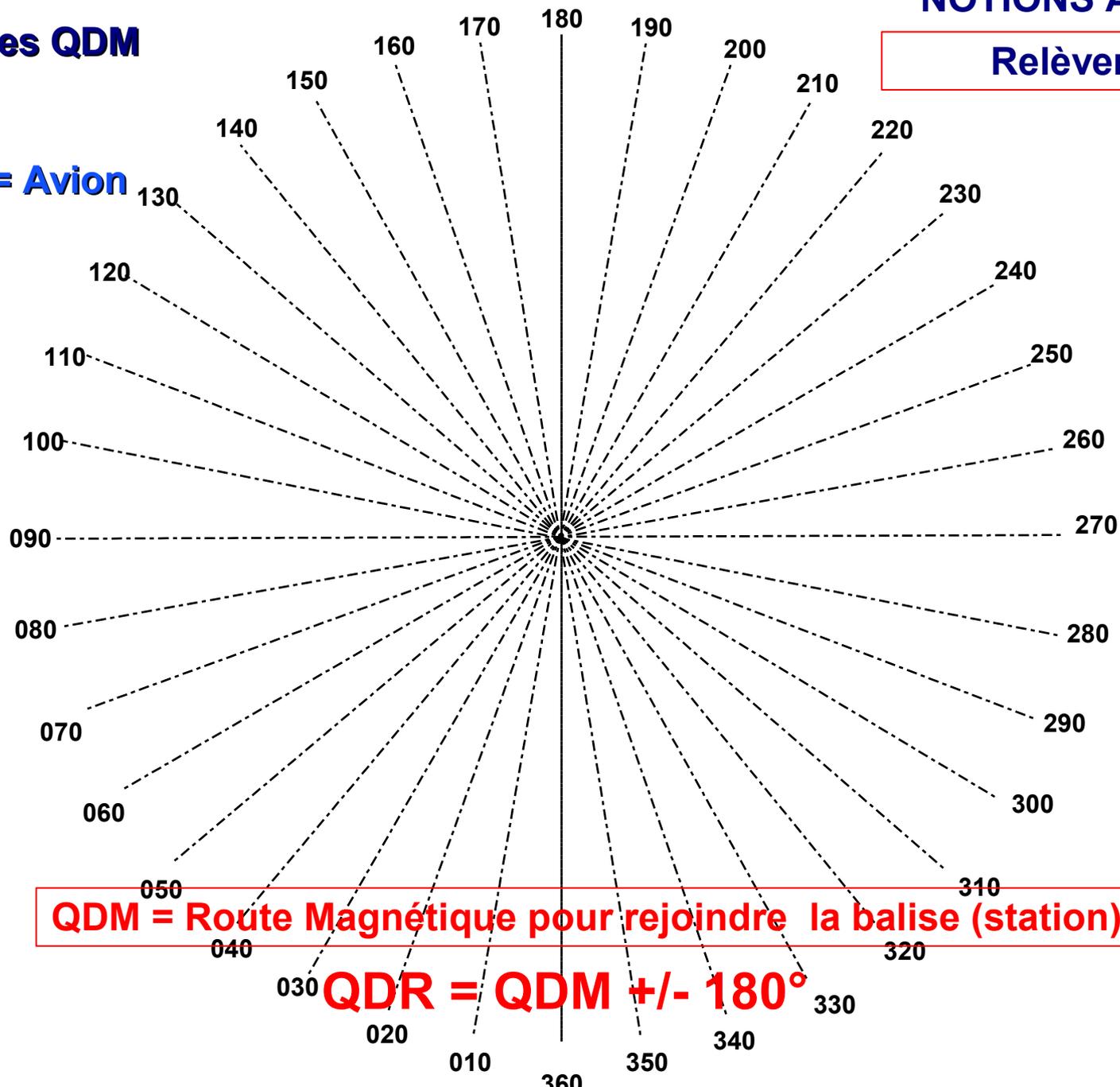
Radio Navigation

NOTIONS ANGULAIRES

Relèvements

Rose des QDM

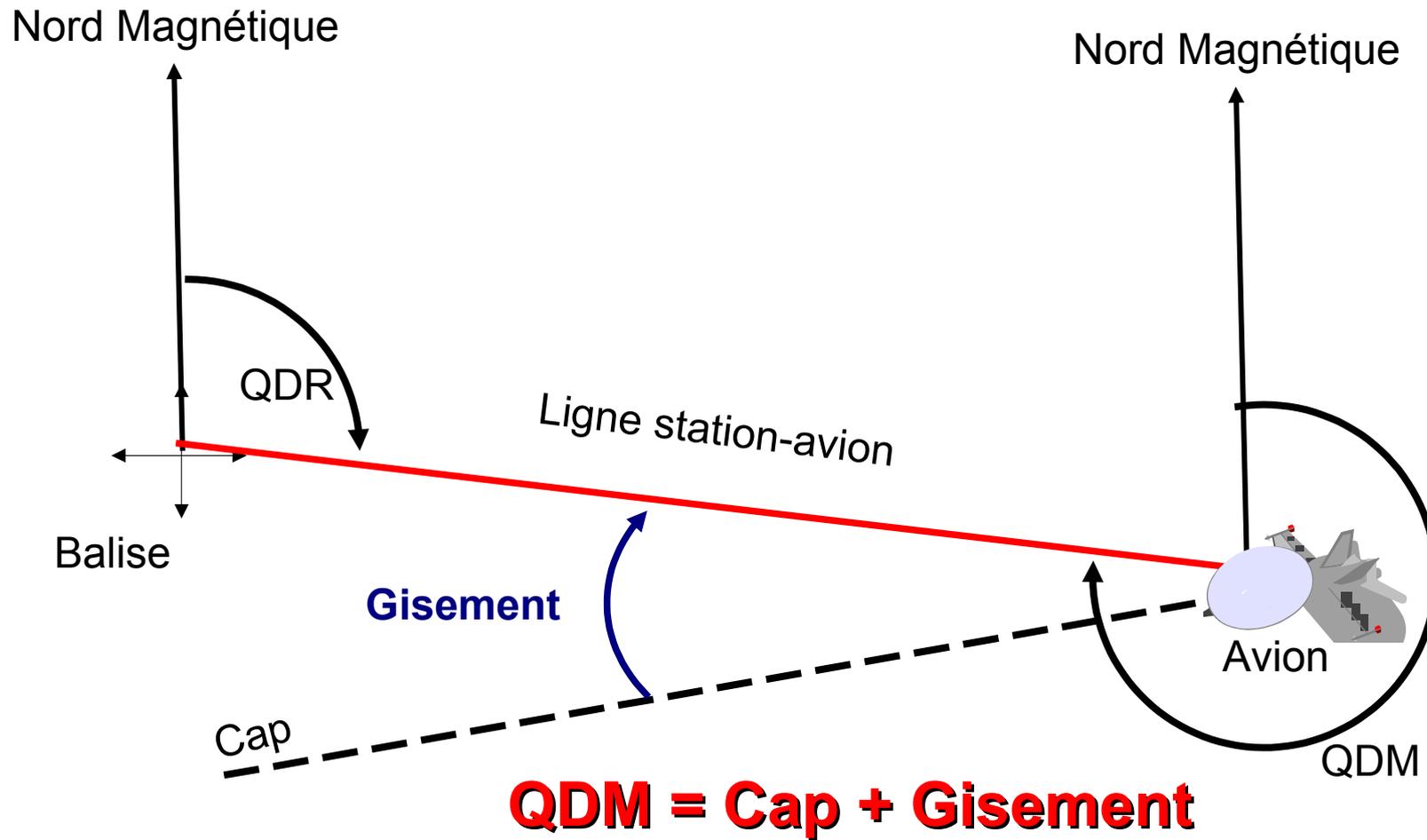
Référence = Avion



Radio Navigation

NOTIONS ANGULAIRES

Gisement



Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

A SUIVRE : LES AIDES à LA NAVIGATION

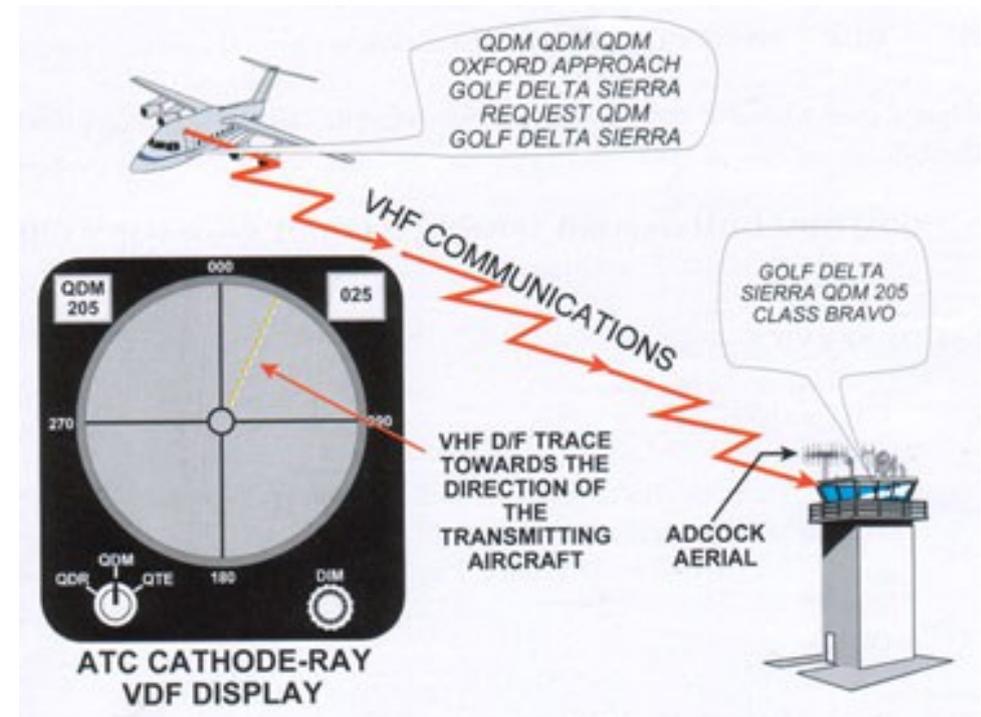
Radio Navigation

AIDES RADIONAV GONIO

Le VDF (VHF Directionnal Finder) ou gonio, nécessite un opérateur au sol.

Le procédé consiste à mesurer l'angle de réception d'une émission VHF par un procédé radioélectrique.

L'opérateur fournira au pilote un relèvement (ou QDM) pour rejoindre l'aérodrome



Radio Navigation

AIDES RADIONAV GONIO

La liste des aérodromes susceptibles de fournir ce service se trouve en page 2 du « Complément aux cartes aéronautiques » édité par le SIA.

Cette information sera également mentionnée sur les cartes VAC.

<i>Visual approach</i>	<i>Public Air Traffic</i>	02 05 16
Coord WGS-84		LAT : 45 21 47 N
ALT en ft		LONG : 005 19 58 E
ALT AD : 1302 (47hPa)		DEC 1° W (00)
ATIS : GRENOBLE 125.725 ☎ 04 76 65 55 89		VDF : GRENOBLE Gonio 119.3 - 120.4
APP : GRENOBLE Approche 119.3 - 120.4 (S)		
TWR : GRENOBLE Tour 119.3		
GRENOBLE Sol 121.925	En l'absence d'organisme ATS A/A en FR seulement.	ILS/DME : RWY 09 SG 109.3

Radio Navigation

AIDES RADIONAV
GONIO

Utilisation VDF

La **phraséologie** avec une station VDF sera :

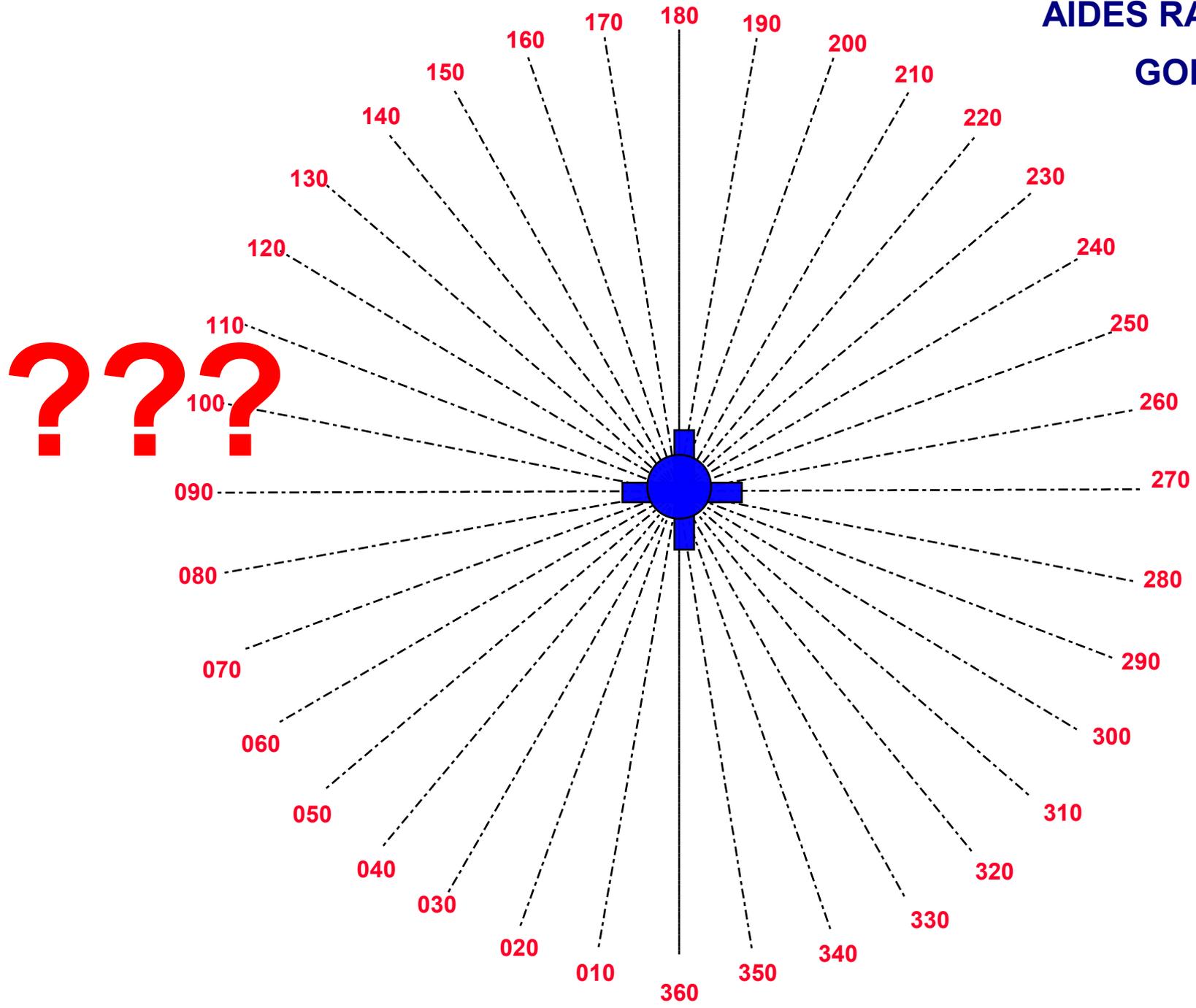
« Grenoble gonio de FGJXE, pour un cap magnétique vers vous (QDM)»

« FGJXE de Grenoble Gonio, QDM 050 »

« QDM 050, F-XE »

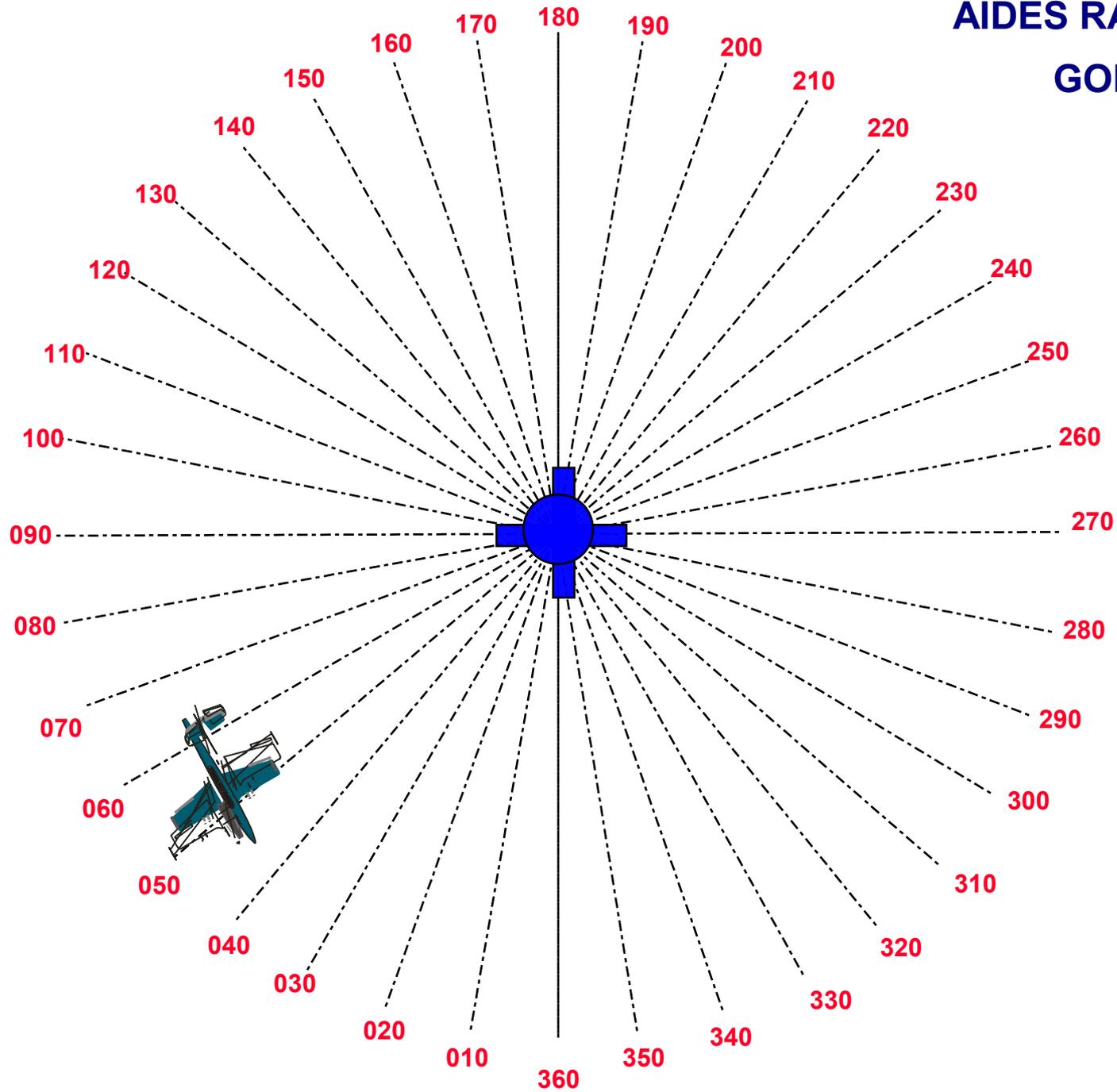
Radio Navigation

AIDES RADIONAV
GONIO



Radio Navigation

AIDES RADIONAV GONIO



Radio Navigation

AIDES RADIONAV
GONIO

Utilisation VDF

« QDM 050 » signifie également que vous êtes sur le QDR 230° ($050^\circ + 180^\circ$).

Le cap magnétique à suivre **sans vent** pour rejoindre l'aérodrome sera donc le 050° .

Si lors des appels suivants, les QDM ont tendance à augmenter, c'est que vous dérivez vers la gauche et qu'à priori, le vent vient de votre droite (avant ou arrière), et inversement.

Il en sera de même si vous tenez mal votre cap ou si vous avez oublié de recalibrer votre conservateur de cap !

Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

A SUIVRE : LE VOR

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

VOR

Définition :

VHF OMNI RANGE

Le VOR est un radiophare omnidirectionnel VHF à moyenne et courte portée.

Il permet de déterminer une position (ou relèvement magnétique - QDR) par rapport à une balise dont la position est connue.

Les indications de position sont indépendantes du cap de l'avion.

NB: un système de mesure de distance peut être associé, le VOR devient alors VOR-DME

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

VOR

On peut utiliser le VOR:

en homing, c'est-à-dire en se dirigeant vers la balise
(indication TO)

en s'en éloignant (indication FROM),

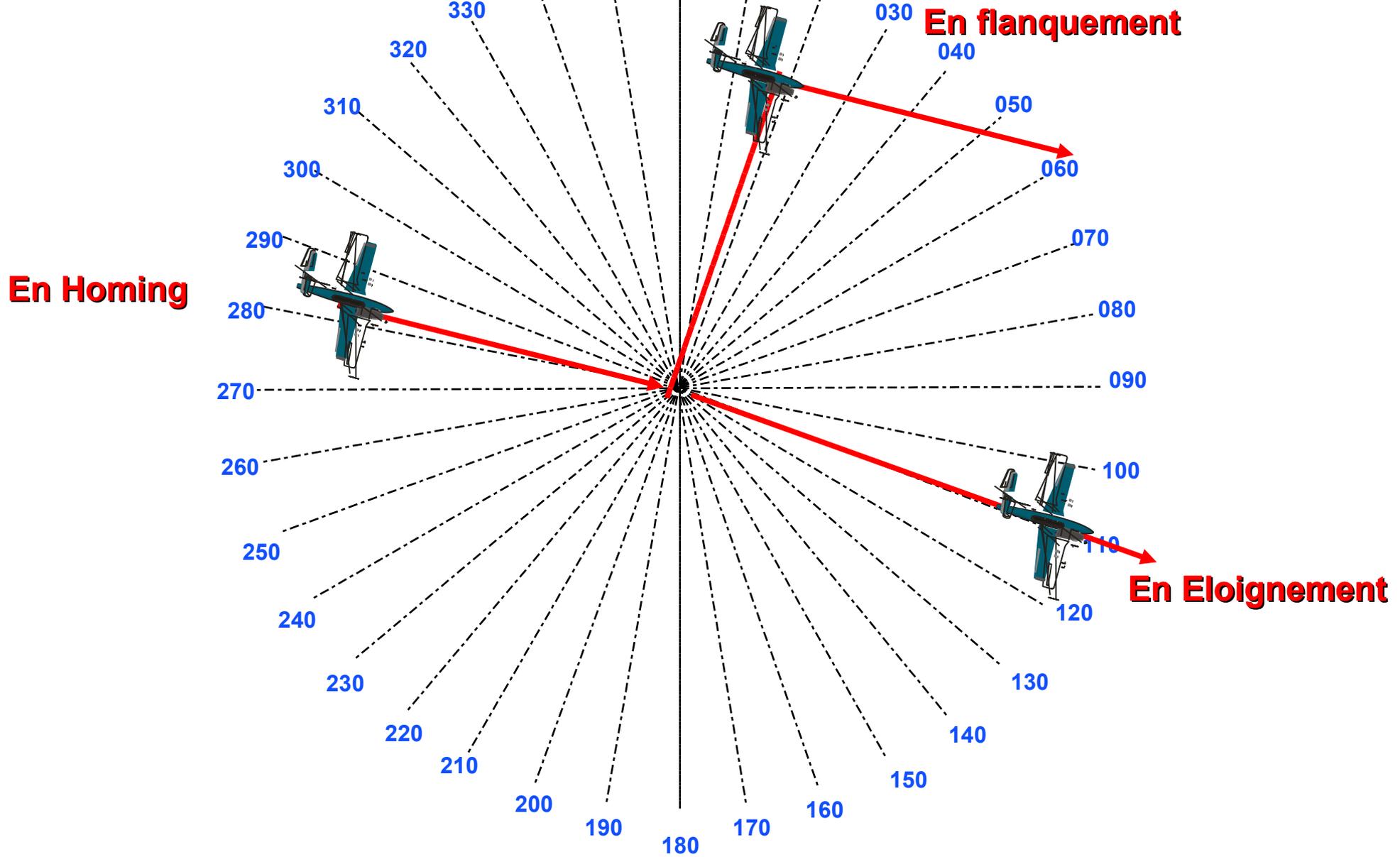
ou

en flanquement, pour matérialiser un point, une entrée ou
une sortie de zone.

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

VOR



Radio Navigation

AIDES RADIONAV VOR

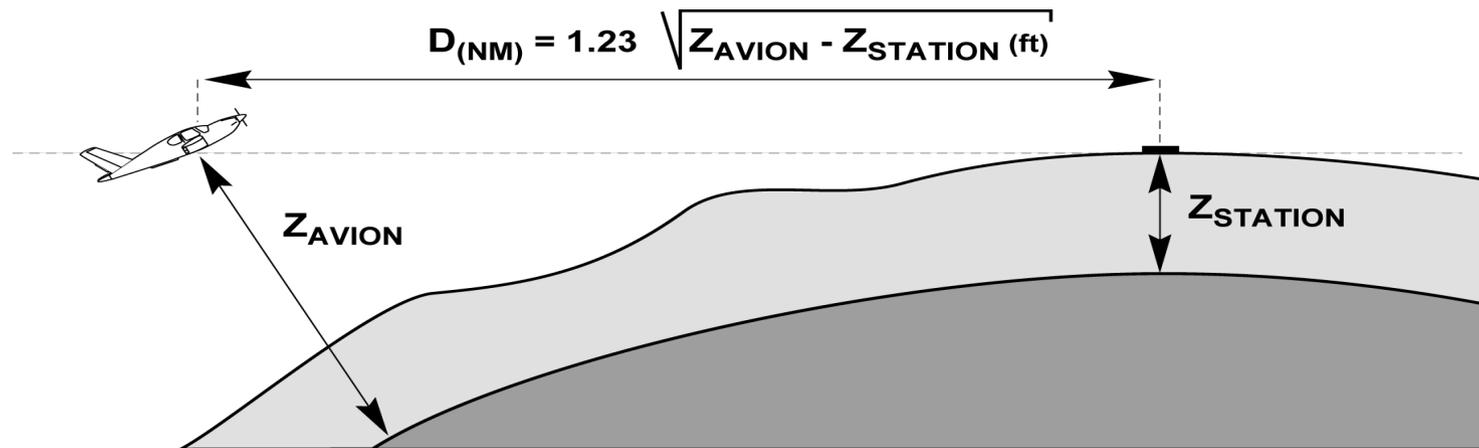
Ondes: 108 à 118 MHz

TVOR: 108 à 112 MHz*, 20 canaux (1/10^{ème} pair)

VOR: 112 à 118 MHz, 120 canaux

Précision: entre 2 et 5°

Portée: optique (f) de l'altitude, limitée à 200 Nm pour les VOR et à 25 Nm pour les TVOR



* Dans cette gamme on trouve également les ILS (1/10^{ème} impair) : 108,1 108,3 108,5 108,7 etc.

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

VOR

Ondes: 108 à 118 MHz

TVOR: 108 à 112 MHz*, 20 canaux (1/10^{ème} pair)

VOR: 112 à 118 MHz, 120 canaux

Précision: entre 2 et 5°

Portée: optique (f) de l'altitude, limitée à 200 Nm pour les VOR et à 25 Nm pour les TVOR

Avantages: équipement de bord simple, informations stables, sûres.

Inconvénients: Système angulaire nécessitant une manipulation, mauvaise réception à basse altitude

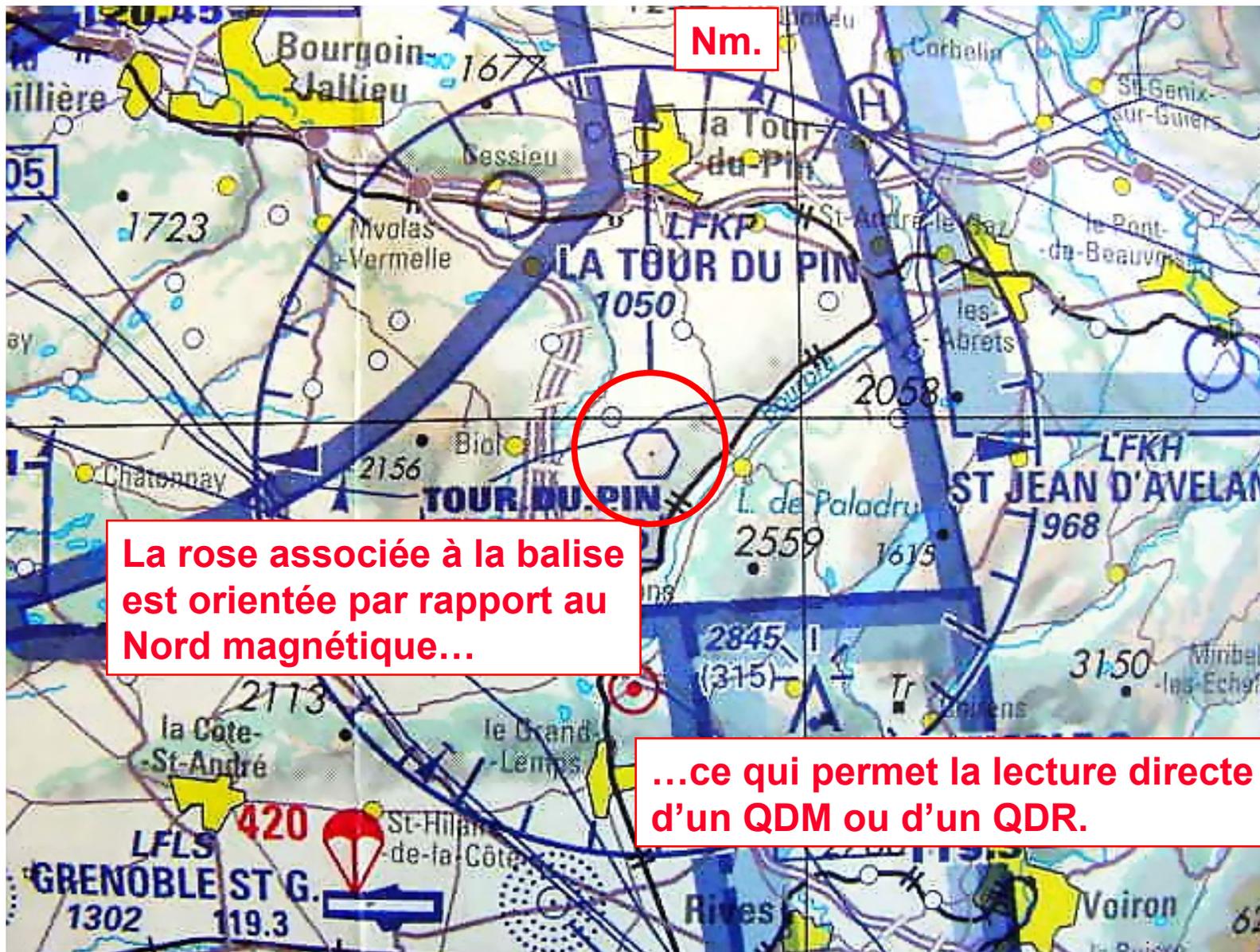
** Dans cette gamme on trouve également les ILS (1/10^{ème} impair) : 108,1 108,3 108,5 108,7 etc.*

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

Les VOR sur les cartes

VOR



Nm.

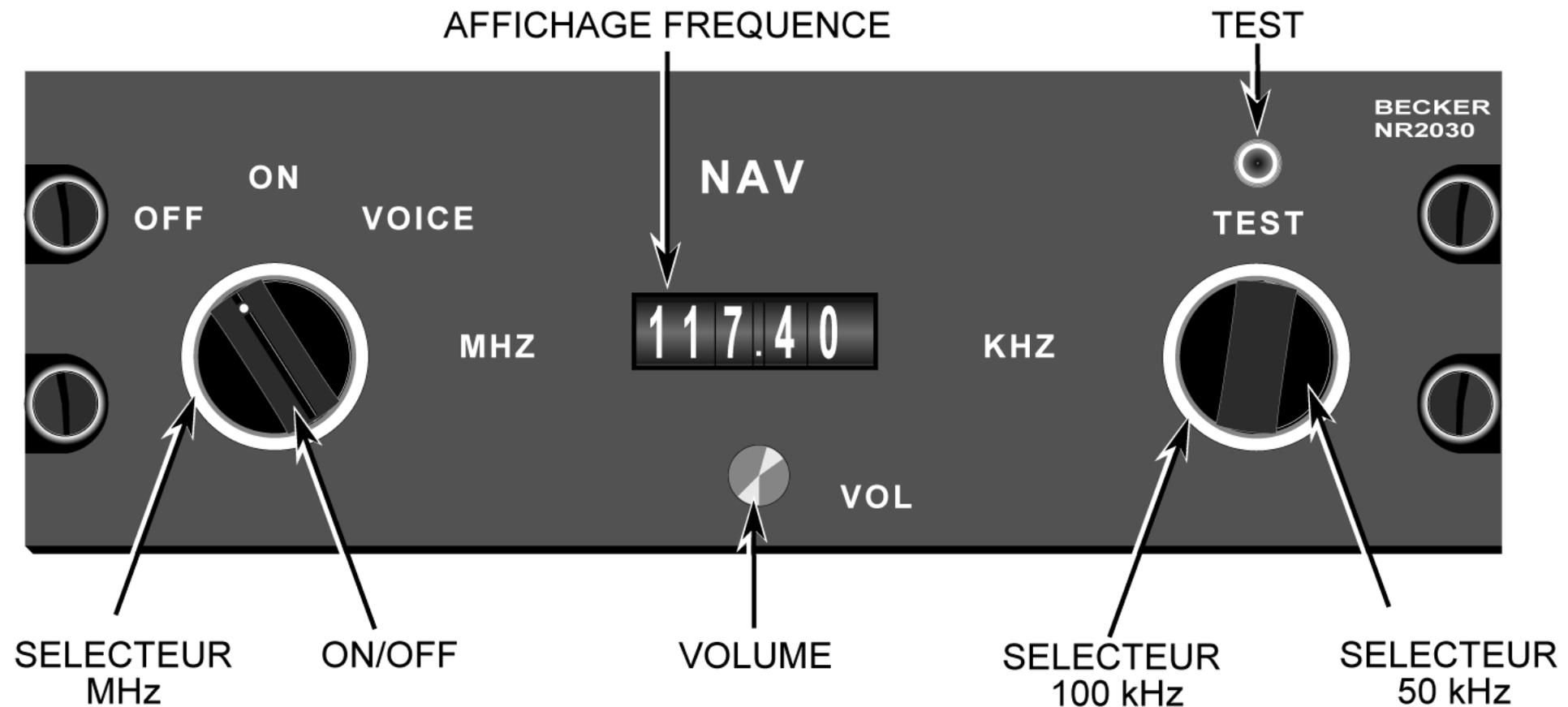
La rose associée à la balise est orientée par rapport au Nord magnétique...

...ce qui permet la lecture directe d'un QDM ou d'un QDR.

Radio Navigation

AIDES RADIONAV
VOR

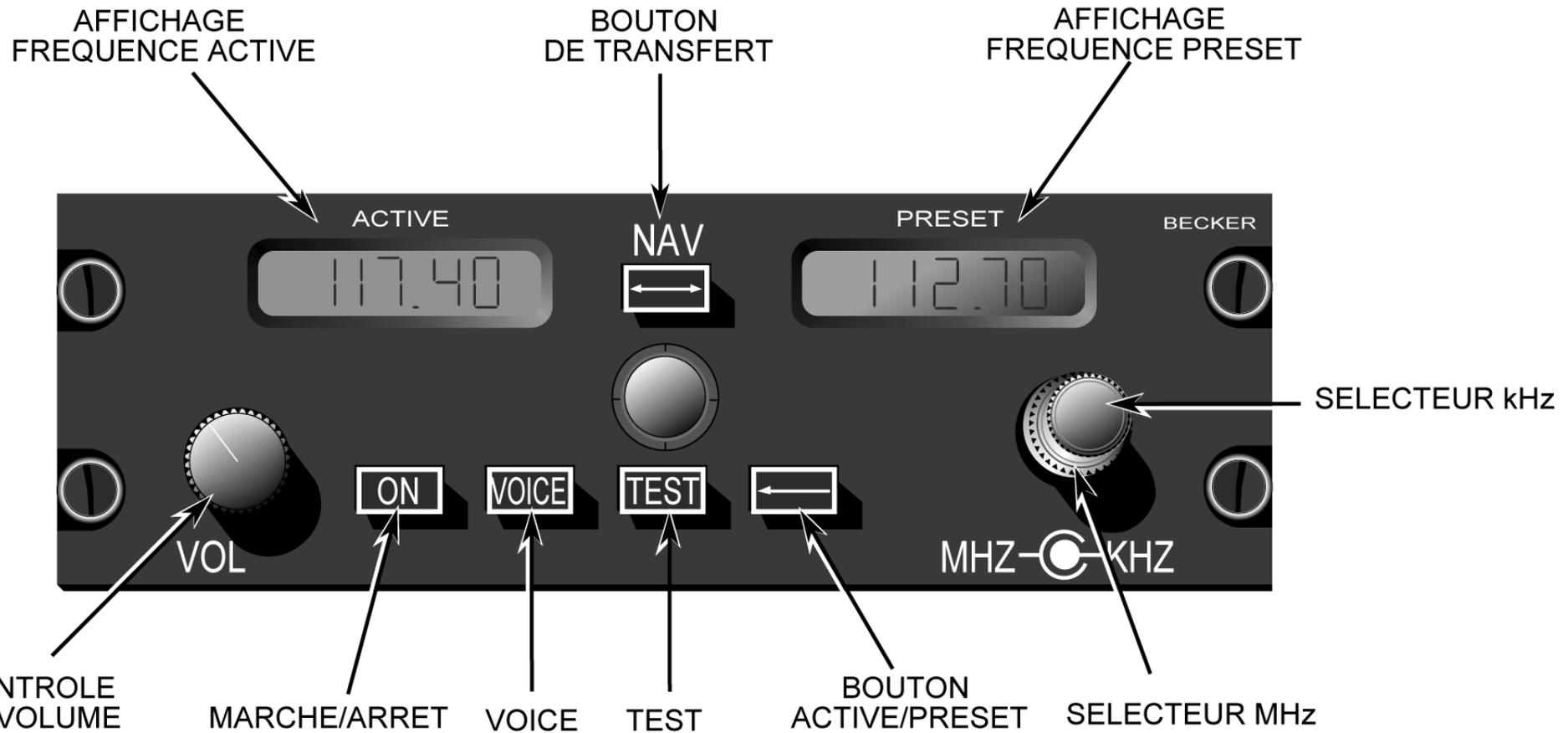
Récepteur VOR type Becker NR2030



Radio Navigation

AIDES RADIONAV
VOR

Récepteur VOR type Becker



Radio Navigation

AIDES RADIONAV
VOR

Récepteur VOR G430



Radio Navigation

AIDES RADIONAV
VOR

Indicateur CDI Bendix VOR/ILS



Radio Navigation

AIDES RADIONAV
VOR

Indicateur CDI Bendix VOR (pas d'ILS)

Radial sélectionné: 327



Aiguille de déviation

Indicateur TO
(absent)

Flag alarme

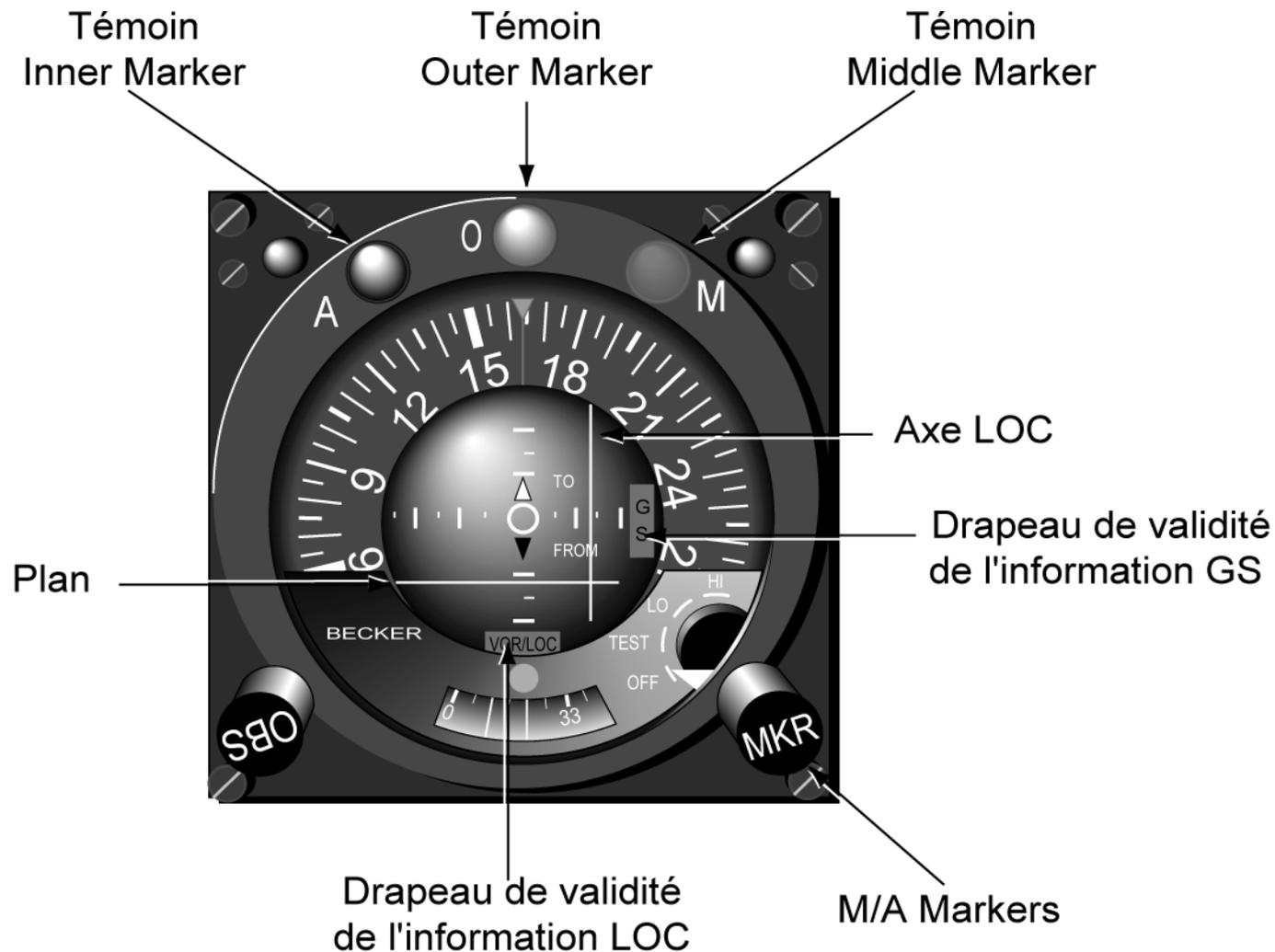
Indicateur FROM
(absent)

Bouton de sélection radial

Radio Navigation

AIDES RADIONAV VOR

Indicateur CDI Becker VOR/ILS



Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

A SUIVRE : LE DME

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

DME

Définition :

Distance Measuring Equipment (DME)
Equipement de mesure de distance

Equipement embarqué qui permet l'affichage de la distance d'une balise, d'une Vitesse Sol et d'un temps pour atteindre la balise.

Il est toujours appareillé avec un autre équipement de radionavigation (VOR/ILS) ou constitue sa partie intégrante (TACAN)

Il utilise le principe de fonctionnement du radar secondaire (interrogation/réponse).

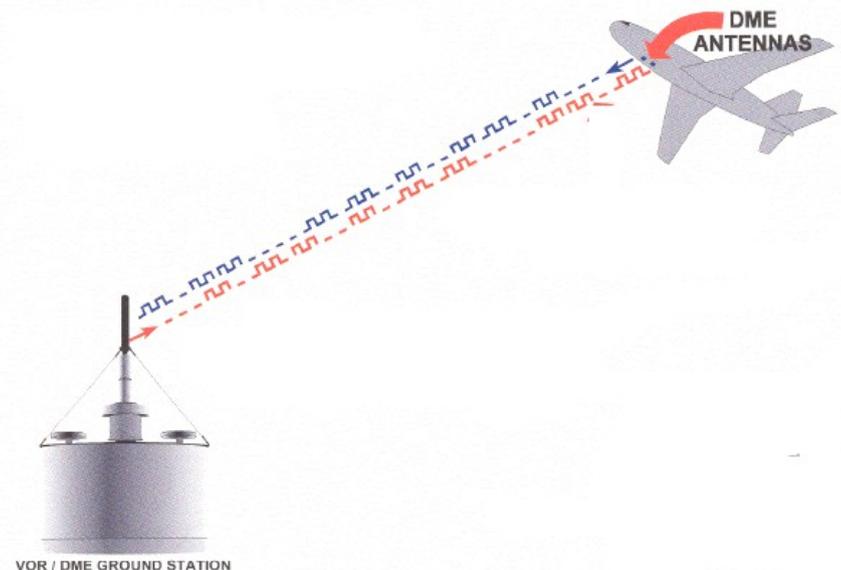
Radio Navigation

AIDES RADIONAV

DME

Principe de fonctionnement : idem Radar Secondaire

- l'équipement de bord envoie un signal à T0 ;
- un transpondeur au sol transmet une réponse à l'avion ;
- l'avion reçoit la réponse à T1 ;
- la distance est calculée en utilisant la différence entre T1-T0 et C
C = vitesse lumière



Radio Navigation

AIDES RADIONAV

DME

Fréquences : UHF

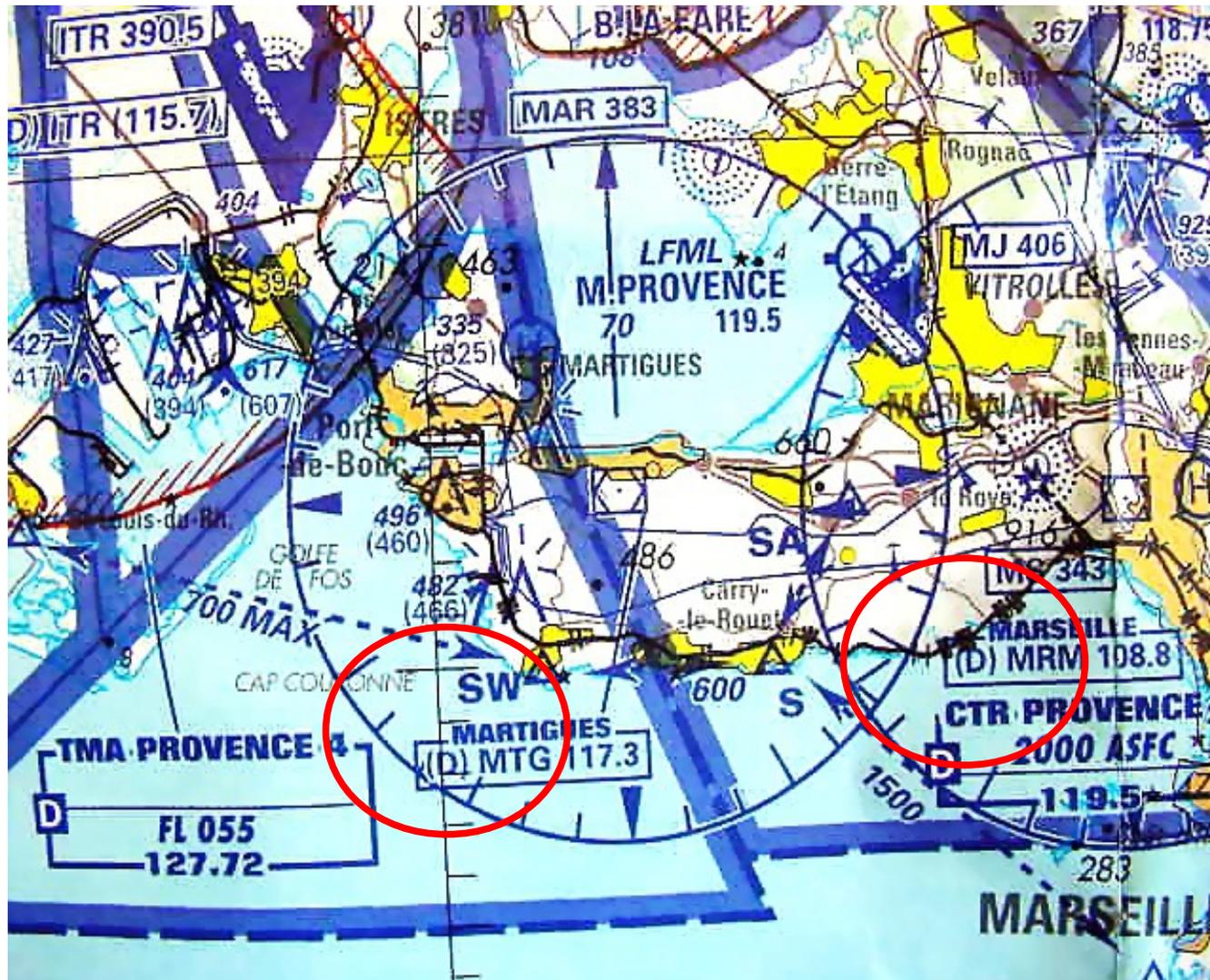
- de 962 à 1213 MHz
- les équipements de bord disposent de 126 Canaux entre 1025 et 1150 MHz
- Numérotés de 1X à 126X et de 1Y à 126Y soit 252 Canaux disponibles

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

DME

Fréquences :



Radio Navigation

AIDES RADIONAV

DME

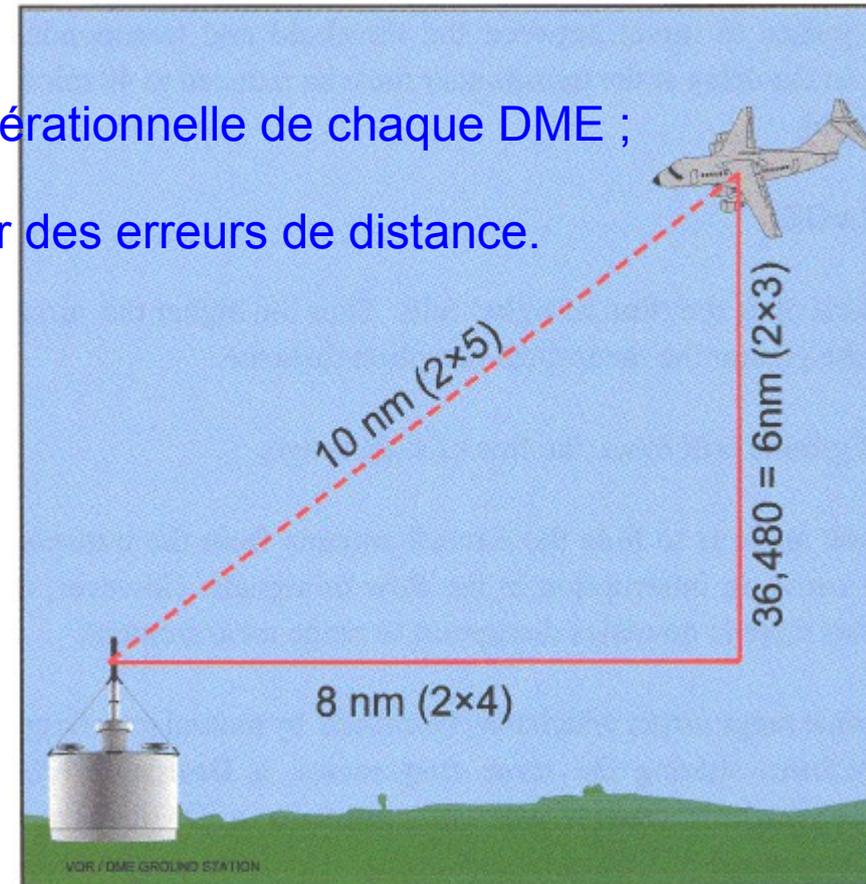
Portée et couverture :

- Portée visuelle directe ;
 - Portée augmente avec l'altitude
 - Les obstacles bloquent la ligne
 - L'inclinaison de l'avion peut masquer l'antenne
- Utiliser la documentation pour connaître la portée opérationnelle de chaque DME ;
- Utilisation au-delà de la portée publiée peut entraîner des erreurs de distance.
- Précision $< 0,2$ NM dans 95% des cas.

Mais, donne une distance oblique !!!

Ce n'est pas une distance horizontale.

Erreur quand on est haut et près.

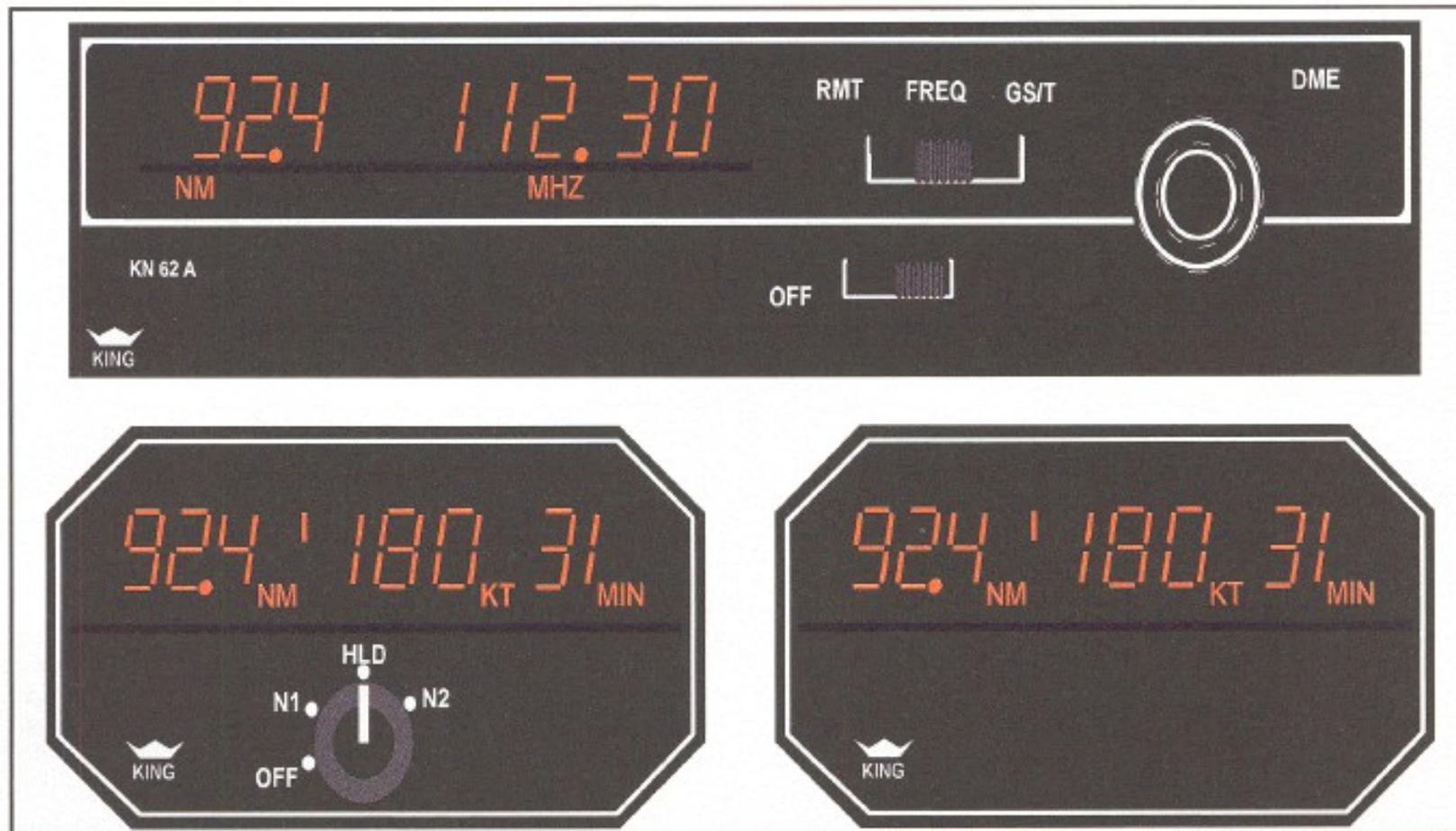


Radio Navigation

AIDES RADIONAV

DME

Utilisation :



Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

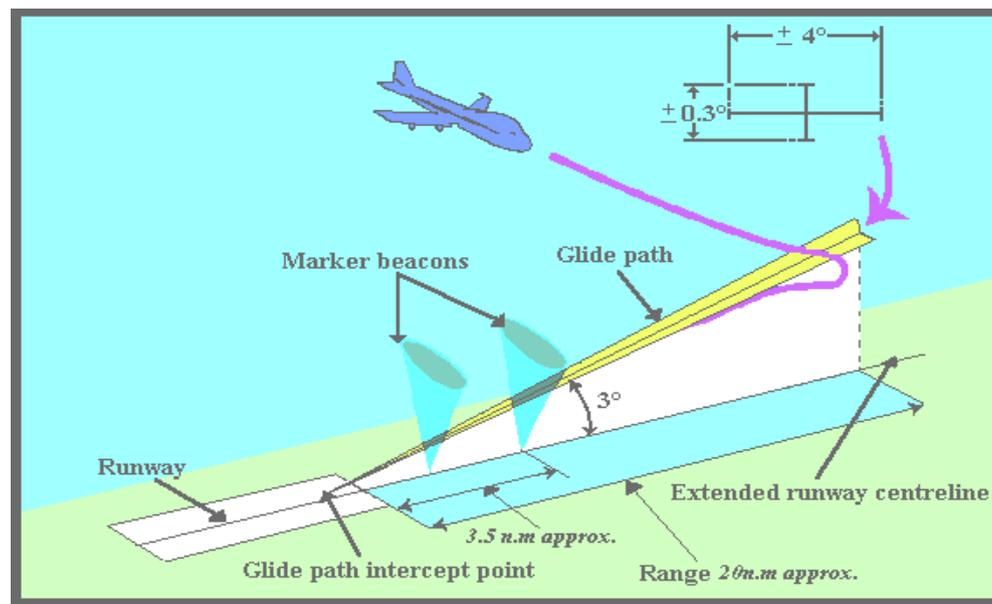
A SUIVRE : L'ILS

Radio Navigation

AIDES RADIONAV ILS

Définition : *Instrument Landing System*

- Système d'approche aux instruments de précision permettant les atterrissages par mauvaise visibilité
- Fournit un guidage pour suivre une trajectoire prédéterminée
 - Horizontale le long de l'axe longitudinal de la piste (LLZ)
 - Verticale le long d'un axe incliné à 3° aboutissant sur la piste (GP)



Radio Navigation

AIDES RADIONAV ILS

Composants :

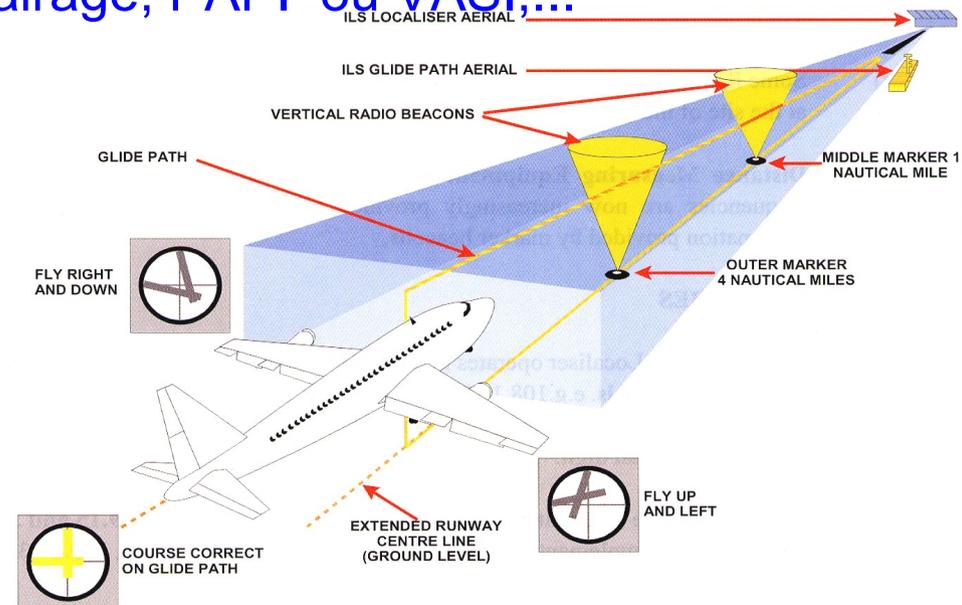
Localizer (LLZ) : azimuth (VHF)

Glide Path (GP) : site (UHF)

ILS : Markers repères de distance (OM, MM, IM)

ILS/DME : distance fournie par le DME si avion équipé.

Equipements terrain : rampe approche, Éclairage, PAPI ou VASI,...



Radio Navigation

AIDES RADIONAV

ILS

Fréquences :

LLZ :

VHF : 108.000 → 111.975 Mhz ⇒ 40 channels même bande que le VOR

différence : nombre impaire de la première décimale

(108.10, 108.15, 108.30, 108.35, ..., 111.95)

GP :

UHF 329.15 → 335.00 Mhz espacée de 15 kHz

Mais lié au LLZ selon une logique ICAO e.g. 108.1 ⇔ 334.7

avantage : moins de charge de travail. Seule sélection et identification du la Fx (LLZ)

MRK :

VHF 75 Mhz

Radiation verticale très étroite ⇒ par d'interférence avec les autres markers

Automatique

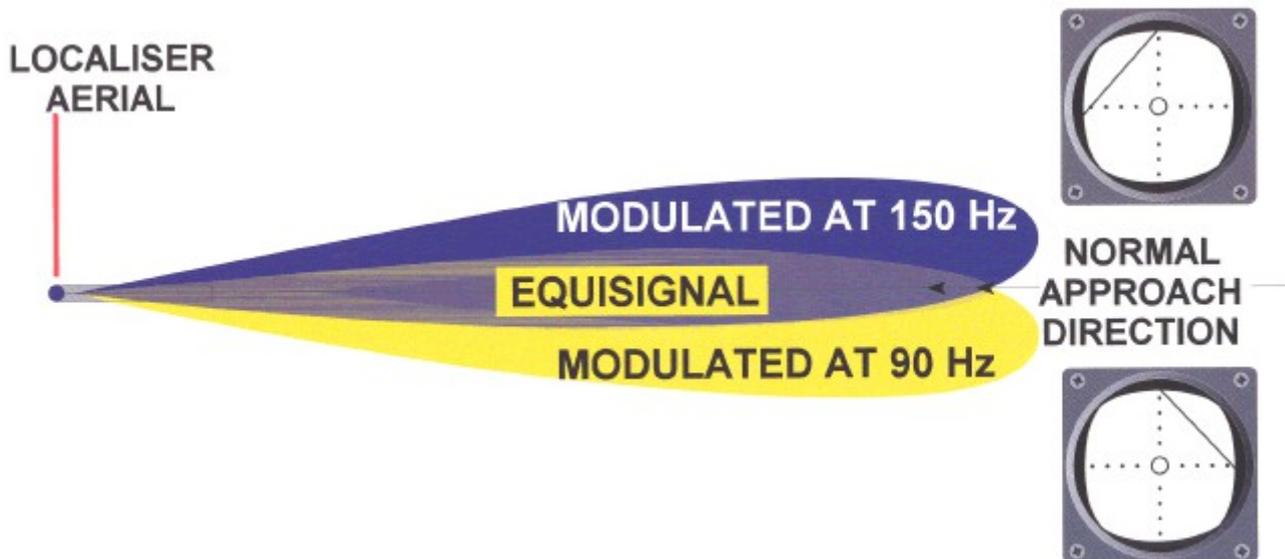
Radio Navigation

AIDES RADIONAV ILS

Localizer (LLZ) : équipements sol

Le signal transmis se compose de 2 lobes
même fréquence mais différentes modulations amplitude

À droite de l'axe de piste: 150 Hz
À gauche de l'axe de piste : 90Hz



Radio Navigation

AIDES RADIONAV ILS

Localizer (LLZ) : équipements embarqués

Antenne

Récepteur VHF

Indicateur de déviation



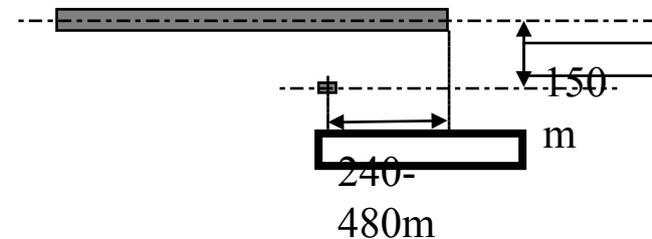
Radio Navigation

AIDES RADIONAV

ILS

Glide Path (GP) : Equipements au sol

- émetteur UHF placé sur le côté de la piste
- calé pour que le plan 3° coupe le seuil de piste à 50ft.

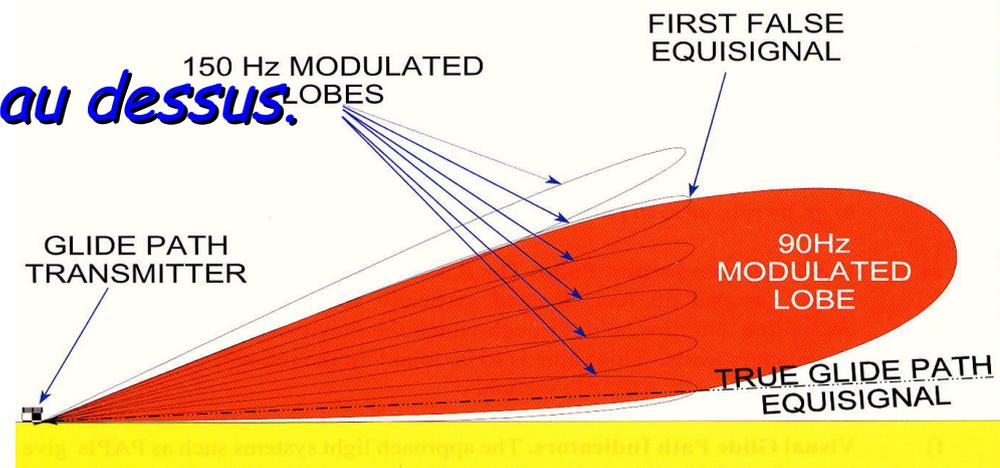


Fréquence modulée différemment 150 Hz (bas) et 90 Hz(Haut)

Calage optimal : 3°

Présence lobes secondaires au dessus.

- => interception par dessous !
- => vérification (H/OM) (1/60 rule)



Radio Navigation

AIDES RADIONAV ILS

Glide Path : équipements embarqués

- antennes (1 ou 2)
- récepteur UHF
- indicateurs

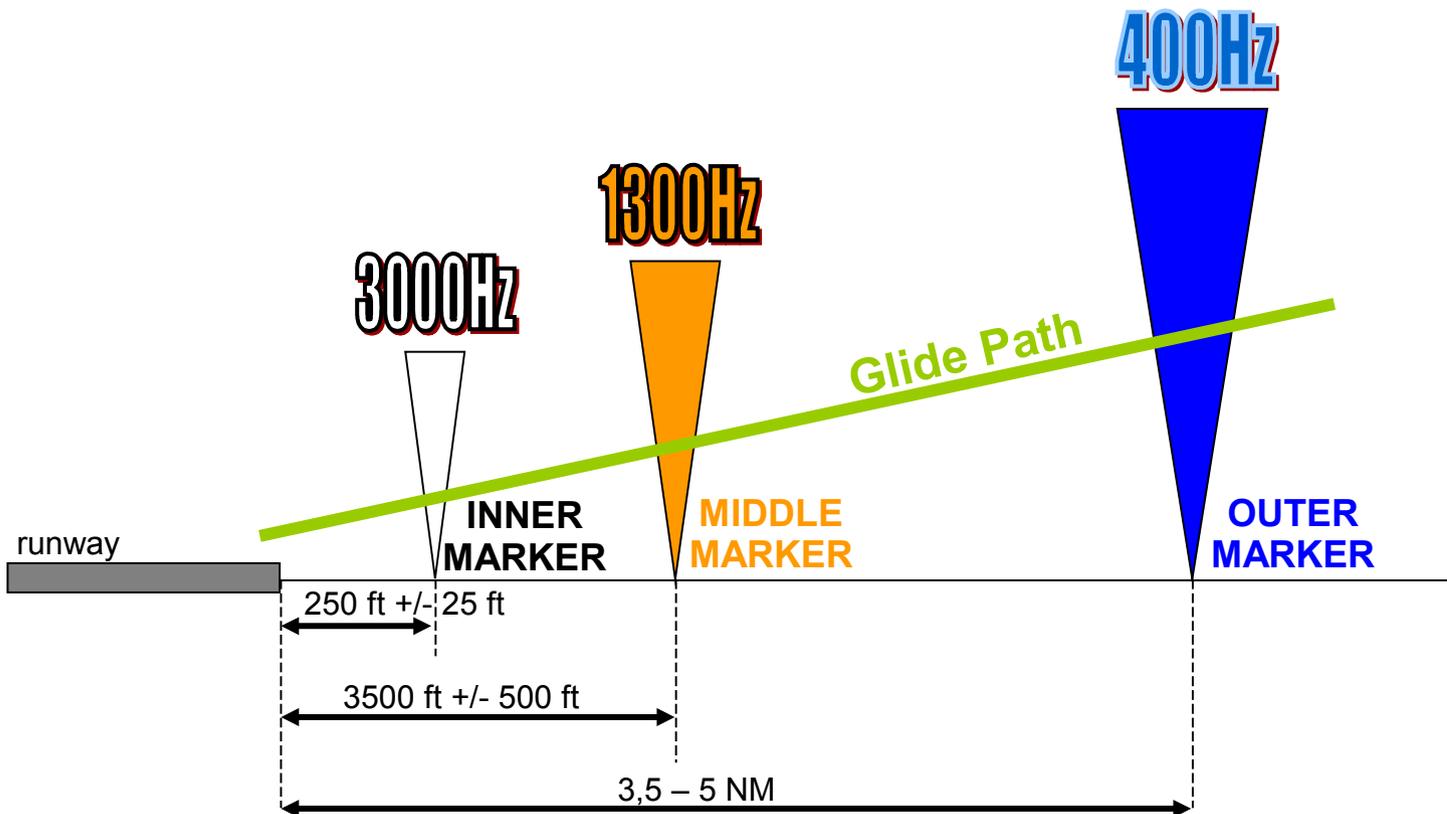


Radio Navigation

AIDES RADIONAV ILS

Markers : Equipements sol

Chaque marqueur émet à 75 MHz



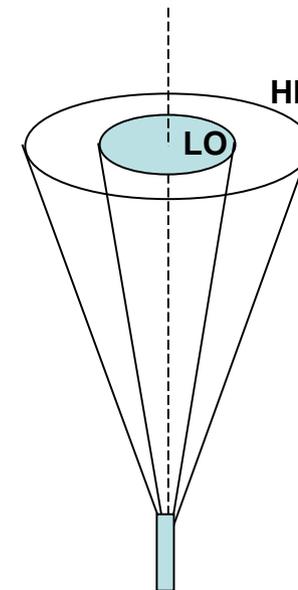
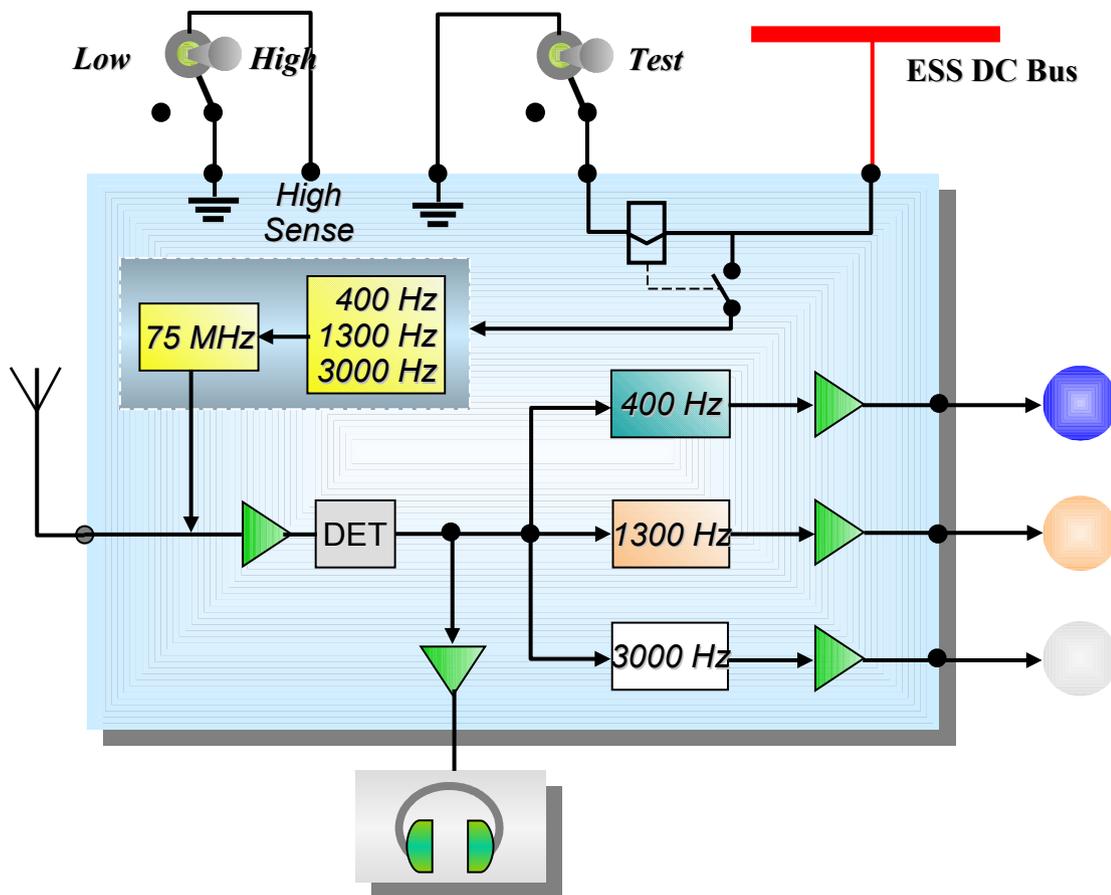
Radio Navigation

AIDES RADIONAV

ILS

Markers : A bord

Signaux lumineux et audio avec sensibilité ajustable (High ou Low)



Radio Navigation

AIDES RADIONAV ILS

Utilisation : Catégories

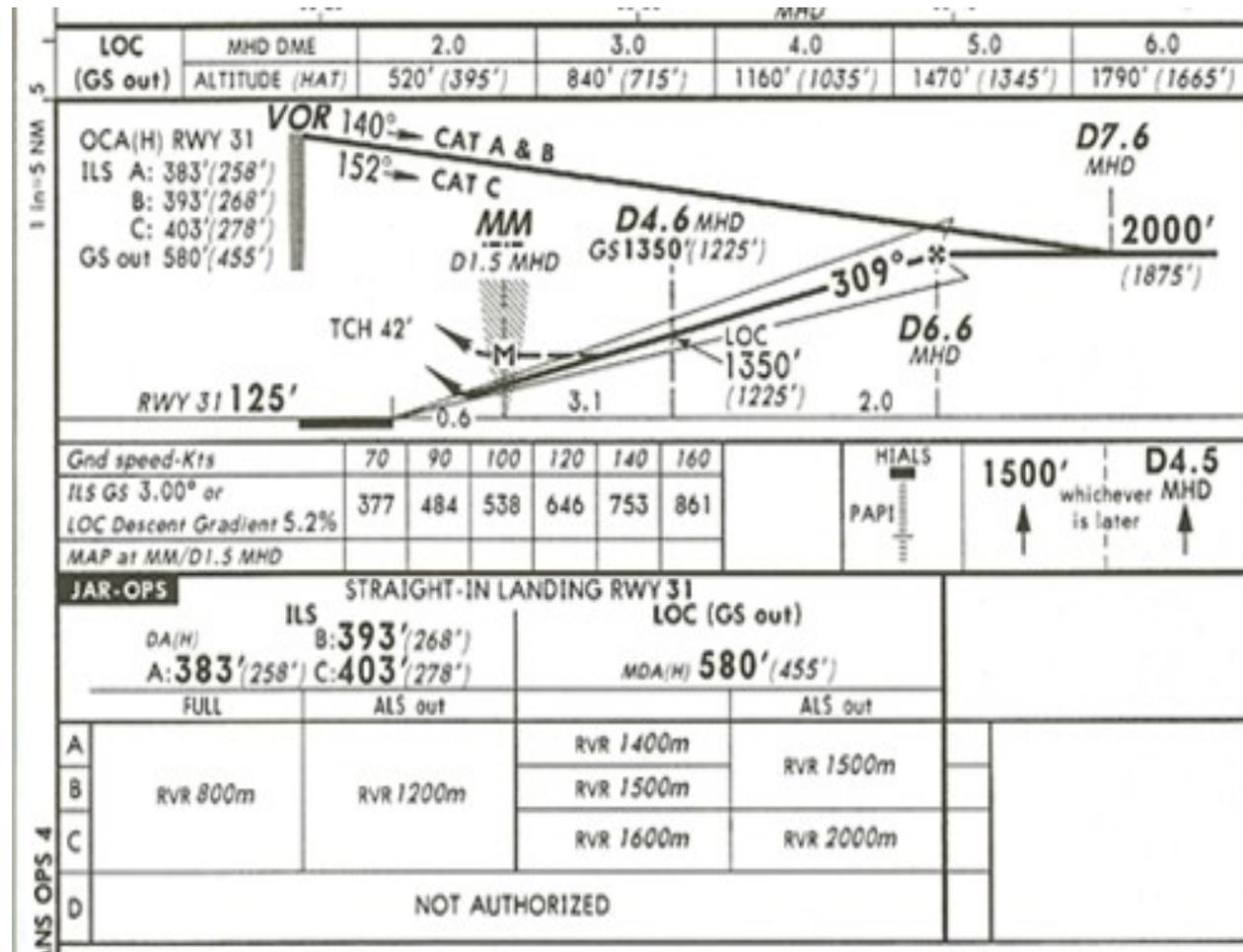
CAT 1 : 200ft / 550m

CAT 2 : 100ft / 300m

CAT 3 : >100/ >200m

Minima sont fonction de la vitesse d'approche (1,3Vs)

Category	Vat
A	< 91kts
B	91 → 120 kts
C	121 → 140 kts
D	141 → 165 kts

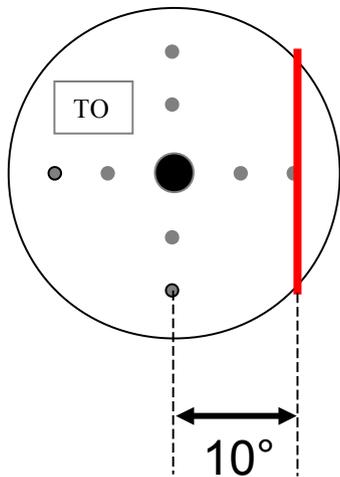


Radio Navigation

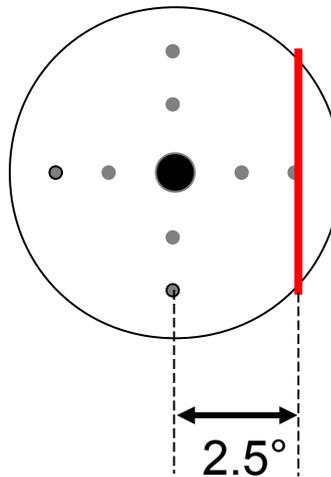
AIDES RADIONAV ILS

Présentation des informations et interprétation :

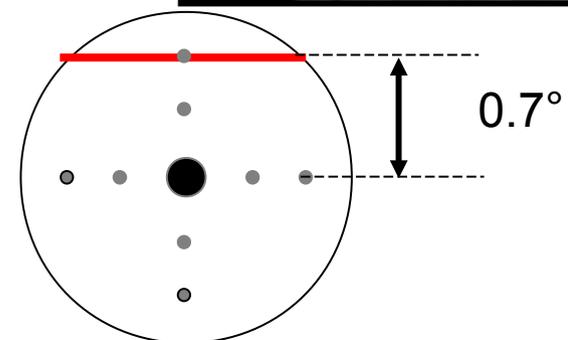
Information sur le même instrument que le VOR
Mais l'échelle est différente



VOR



LLZ



GP

Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

A SUIVRE : L'ADF

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

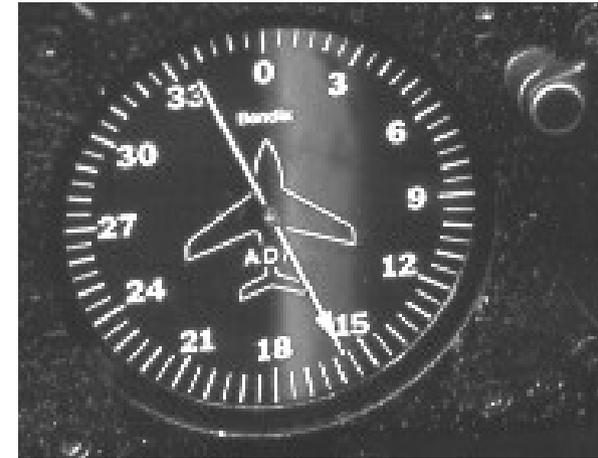
ADF

Définition : *Automatic Direction Finding (ADF)*

L'ADF qui équipe l'avion s'utilise avec un NDB (non-directional Beacon) au sol

Pointe toujours dans **la direction** du NDB sélectionné
Permet d'obtenir des informations de navigation en route et en zone terminale de terrain.

Le NDB émet un signal dans toutes les directions en Basse Fréquence (LF) ou en Moyenne Fréquence (MF).

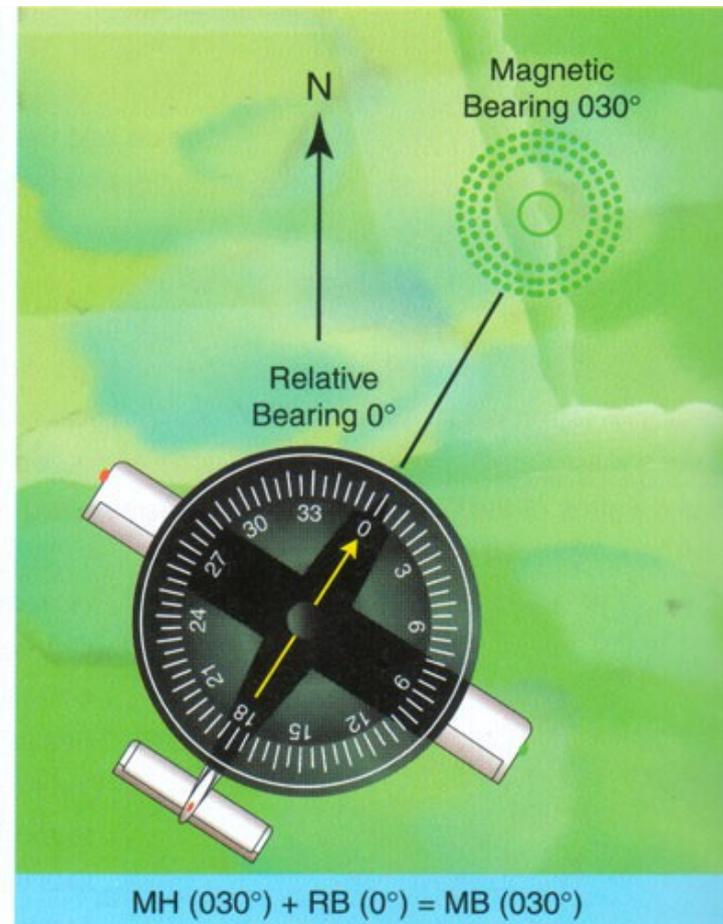
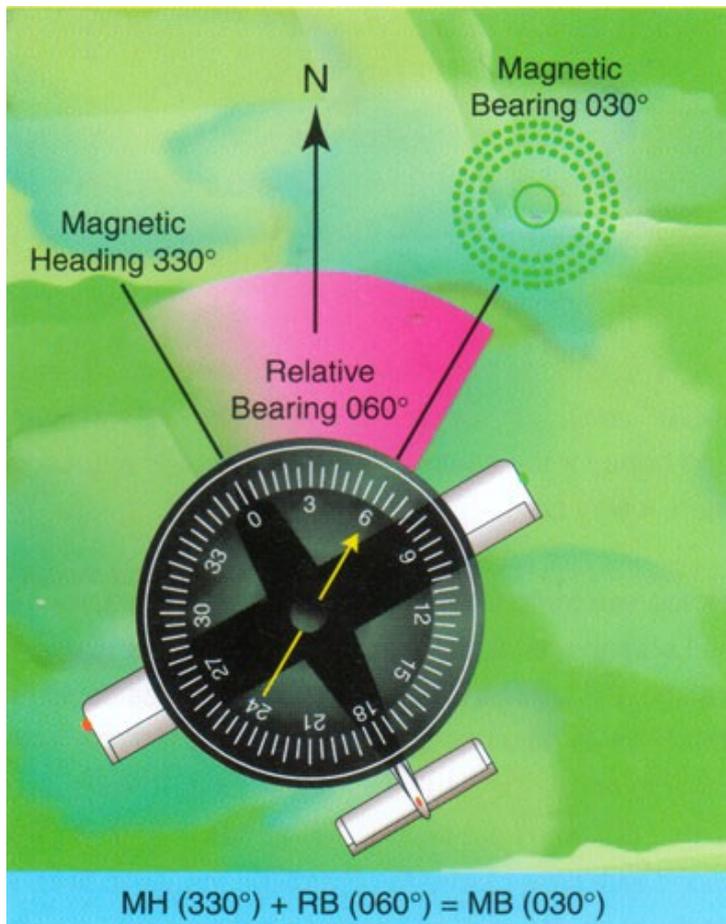


Radio Navigation

AIDES RADIONAV

ADF

Informations obtenues : Gisements



Radio Navigation

AIDES RADIONAV

ADF

Fréquences et types de NDB :

Les fréquences allouées aux NDB sont **190 - 1750 KHz** dans les bandes LF et MF

Ils émettent des ondes de surface

2 types de NDB

Locator (L) :

NDB de faible puissance (25 W) utilisés pour les procédures d'approche. Portée = 25NM

En route NDBs :

Puissance : jusqu'à 5 kW

Portée : 50 NM mais peut aller jusqu'à plusieurs centaines de Nautiques (Océan).

Sont utilisés pour le homing, l'attente, la navigation en route et dans les voies aériennes (airways)

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

ADF

Equipements de bord : antennes

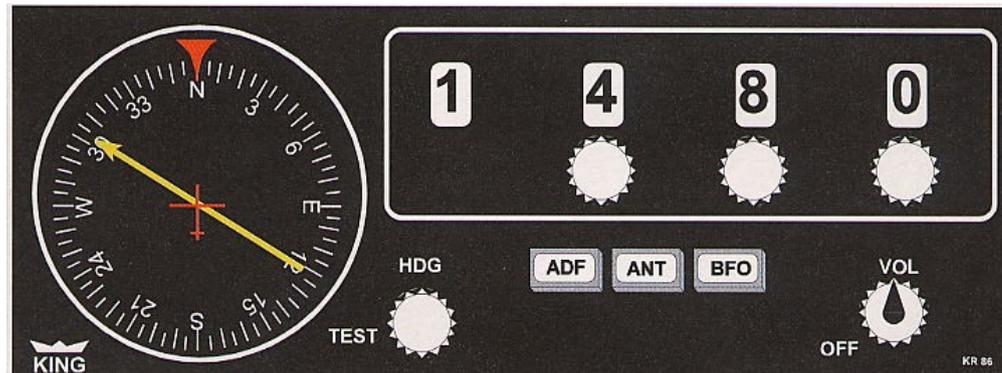


Radio Navigation

AIDES RADIONAV

ADF

Equipements de bord : boîtier de contrôle



Radio Navigation

AIDES RADIONAV

ADF

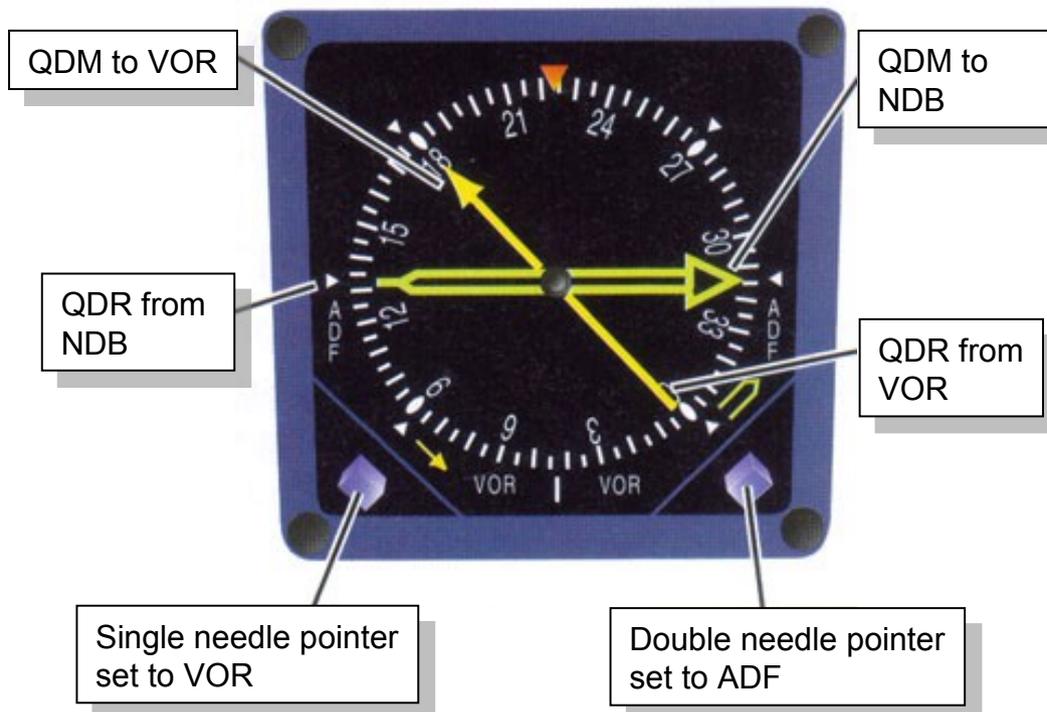
Equipements de bord : indicateurs RBI ou RMI

RBI

(Relative bearing Indicator)



RMI



Radio Navigation

AIDES RADIONAV

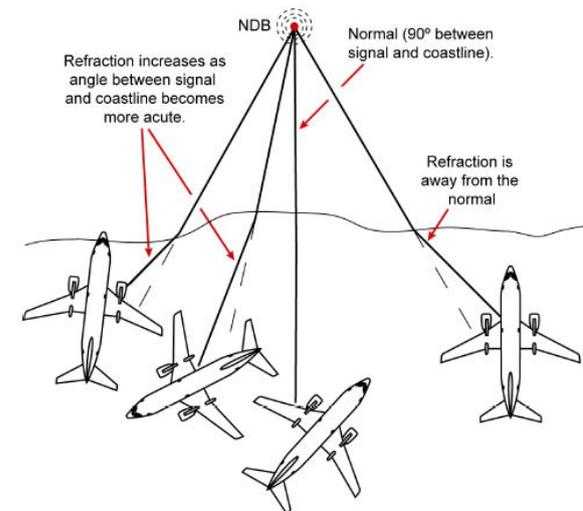
ADF

Facteurs affectant le fonctionnement :

Interférences statiques :

- précipitation
- orage
- nuit : apparition de l'onde de ciel
- autres NDB surtout la nuit
- relief : réfraction et diffraction
- côtes :

Pas d'alerte de panne



Radio Navigation

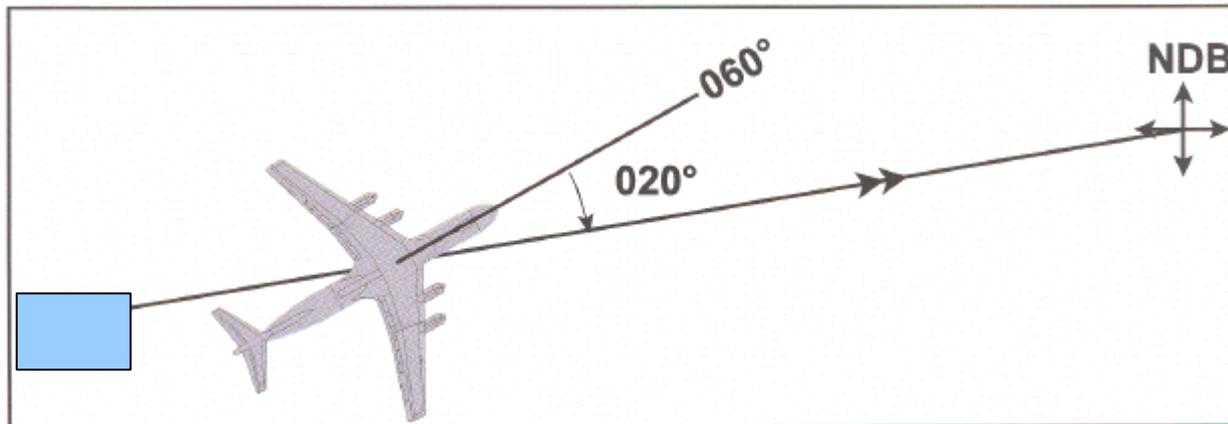
AIDES RADIONAV

ADF

Utilisation :

Précision : +/- 5°

- Le Gisement est mesuré par rapport à l'avion



Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

A SUIVRE : LE GPS

Radio Navigation

AIDES RADIONAV

GPS

Définition :

Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

A SUIVRE : LE RADAR

Radio Navigation

AIDES RADIONAV
RADAR

Définition : *RA*dio *DE*tectio*N* *AN*d *R*ang*ing*

Equipement de Détection et de Mesure de Distance utilisant les ondes radio.

Fournit des informations de :

- Distance,
- Relèvement,
- Hauteur.

Deux types de RADAR

Primaire : envoie des impulsions électromagnétiques qui se réfléchissent sur un objet.

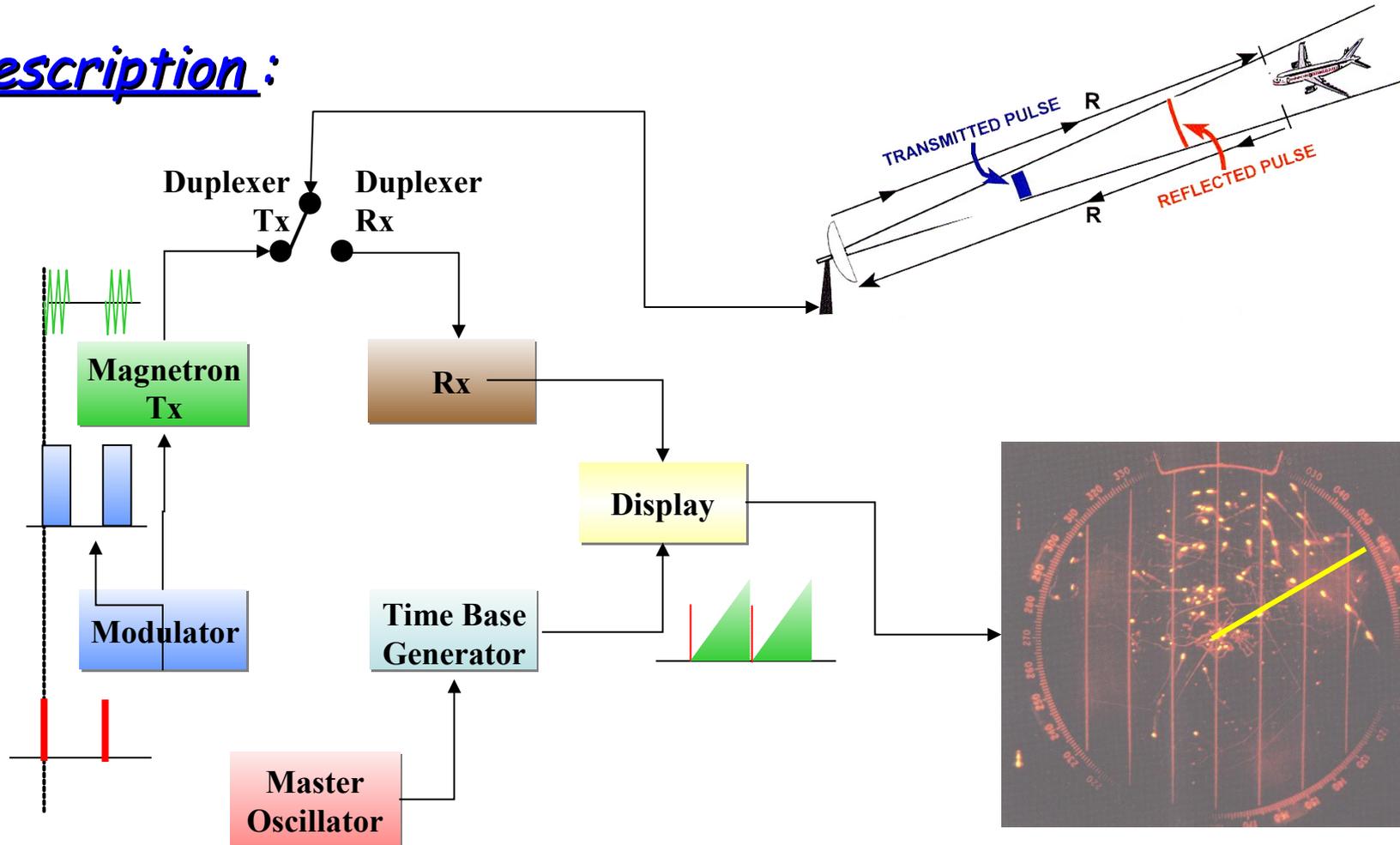
Secondaire : envoie une « interrogation » sur une fréquence et reçoit une « réponse » de l'appareil sur une autre (TRANSPONDEUR).

VHF et au-dessus

Radio Navigation

AIDES RADIONAV RADAR

Description :



Radio Navigation

AIDES RADIONAV
RADAR

Utilisation :

Les stations au sol peuvent :

- identifier, suivre et contrôler les vols
 - En route,
 - En approche et au départ,
 - Au roulage.

- informer les équipages sur :
 - Les autres trafics,
 - La présence d'orage.

Radio Navigation

DES QUESTIONS ?

C'EST FINI !