

VI. Le compas magnétique

1. But du compas magnétique

Indiquer en permanence la direction du nord magnétique (cap magnétique) quel que soit la route suivie par l'avion.

2. Principe de fonctionnement

Le compas magnétique est une boussole.

Il indique le nord magnétique.

Les cartes faisant référence au nord géographique, il faut tenir compte de la déclinaison (angle entre le nord vrai et le nord magnétique).

Le compas magnétique est présent à bord de tous les avions comme moyen de secours et de recalage des moyens plus évolués.

Le compas magnétique est très sensible aux perturbations de l'environnement radioélectrique d'un cockpit. Il faut en partie les compenser.

Selon le cap auquel vole l'aéronef il subsiste une erreur appelée déviation du compas. Une courbe des déviations est toujours présente à côté de l'instrument pour effectuer la correction à la lecture.

3. Présentation de l'instrument



L'instrument se présente comme une boussole boule ou plate.

La lecture **en vol rectiligne en palier est fiable.**

Le compas permet de recaler régulièrement un conservateur de cap.

La lecture **en virage est fausse:**

- à 20° d'inclinaison l'erreur de cap indiqué peut être de 45°.
- à 30° d'inclinaison elle peut atteindre 180°!!

Les virages au compas doivent s'effectuer en prenant des repères sur l'horizon.

VII. Le conservateur de cap (ou directionnel)

1. Principe de fonctionnement

<https://youtu.be/CfLICb1VyCE>

Le conservateur de cap (ou gyrocompas) est basé sur un gyroscope à 2 degrés de liberté maintenant la direction du nord magnétique.

Son inertie est suffisante pour ne pas subir les perturbations et accélérations parasites comme le compas magnétique ce qui permet une tenue de cap suffisamment stable pour effectuer des changements de caps précis.

- Le gyroscope permet de garder une **indication beaucoup plus fiable** que celle du compas magnétique **en virage** :
 - écart de 4° maximum à 20° d'inclinaison
 - écart de 10° maximum à 30° d'inclinaison
 - écart de 18° maximum à 60° d'inclinaison
 - L'écart est négligeable jusqu'à 30° d'inclinaison.

Comme tout instrument gyroscopique il nécessite des recalages réguliers.

On le recale sur le compas magnétique en vol rectiligne en palier.

Le gyroscope précessionne lentement mais se décale plus rapidement si on exécute des évolutions serrées.

2. Présentation de l'instrument



Sur les avions équipés pour le vol aux instruments, on peut trouver des aides de radionavigation couplées au conservateur de cap (VOR, ADF, ILS,...).

L'instrument comprend souvent 1 ou 2 index pour pointer des caps particuliers afin de faciliter la gestion de la navigation.

VIII. Les instruments de radionavigation

1. Le radiocompas

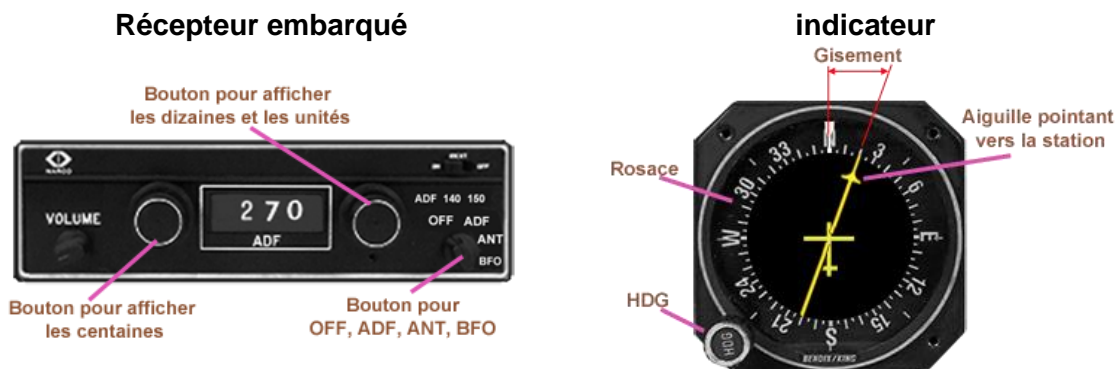
Cet instrument est destiné à indiquer au pilote **la direction à suivre pour rejoindre la position d'une balise située au sol.**

Le radiocompas est encore appelé ADF (Automatic Direction Finder) pour le récepteur et NDB (Non Directional Beacon) pour l'émetteur.

Il se compose de deux parties:

- Une balise au sol émettant dans toutes les directions
- Un récepteur embarqué couplé à un indicateur donnant le gisement de la balise. Le gisement est l'angle formé entre l'axe de l'aéronef et la pointe de l'aiguille.

L'aiguille indique alors le cap à suivre pour atteindre la balise.



Exemple ci-dessus : Si le cap Nord (360°) affiché sur le cadran correspond au cap magnétique réel suivi par l'aéronef, alors celui-ci se trouve sur le QDM 020. En prenant le cap 020° et sans vent l'aéronef survolera la balise au sol.

L'ADF est assez fiable et bon marché. Il est donc très répandu (y compris dans les avions d'aéroclub).

Son utilisation est très simple: pour atteindre une balise il suffit de placer la flèche de l'indicateur dans l'axe de l'avion.

L'indicateur peut être couplé à un gyrocompas (on parle de RMI).

Il existe 2 types de balises radiocompas:

- les NDB pour la navigation
- Les Locators pour baliser les axes des pistes sur les aéroports

Caractéristiques typiques des balises:

type	Fréquence	Puissance	Portée	Précision
L	200 – 1750kHz	< 50	30	±2°
NDB	200 – 1750kHz	50 à 5000	50 à 200	±3 à 5°

L'ADF possède une bonne portée.

L'information donnée au pilote est continue (pas d'interruptions).

L'ensemble est robuste et fiable.

Les balises NDB sont très répandues.

La précision du radiocompas est assez moyenne et pour une navigation de précision il faut un moyen additionnel.

En cas de présence de cumulonimbus, l'indicateur pointe ces nuages plutôt que les balises.

La réflexion des ondes moyennes sur la haute atmosphère la nuit peut engendrer des surprises (on peut capter des balises très éloignées de même fréquence que celle désirée).

2. Le VOR

Le VOR (VHF Omni Range) a la **même vocation que le radiocompas mais travaille dans une gamme de fréquence différente.**



Station VOR



afficheur

Ce Moyen de radionavigation, quelques fois implanté sur un aérodrome, est le plus souvent en campagne aux points clés des régions de contrôle. La station sol émet un signal dans toutes les directions. Ce signal est modulé de telle sorte que le signal reçu diffère en fonction de la position de l'avion sur le cercle des 360°. Le récepteur de bord permet de matérialiser les informations sur la position de l'avion.

L'afficheur (cadran circulaire présentant une barre verticale mobile), appelé aussi OBS, indique le QDM (route magnétique pour atteindre la balise) que l'on désire suivre.

Si l'avion se trouve sur cette route, la barre verticale est centrée sur le cadran.

Si l'avion est décalé par rapport à cette route, la barre est décalée à droite ou à gauche.

Une barre verticale permet de se situer par rapport à la route sélectionnée.

L'indicateur comporte également une indication TO ou FROM qui permet de savoir si on se situe dans le secteur de « rapprochement » ou « d'éloignement » de la balise.

Le VOR présente une bonne fiabilité et un coup modéré. Il est insensible aux perturbations météorologiques. Il donne une information continue dans toutes les phases de vol.

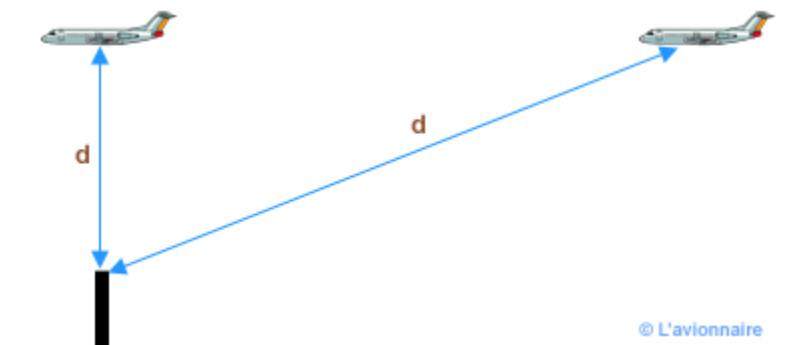
Sa précision est satisfaisante pour des approches de précisions avec des minima pas trop restrictifs. Elle est insuffisante pour assurer un atterrissage sans visibilité.

Il est insensible aux perturbations météo.

3. Le DME

Le DME (Distance Measurement Equipment) est couplé au VOR.

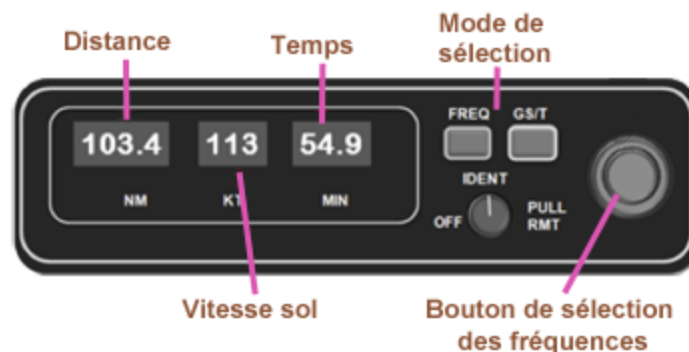
Il fournit **une indication de distance oblique entre l'avion et la balise** (pas de distance horizontale).



Ces caractéristiques techniques sont les suivantes:

type	fréquences	Puissance (W)	Portée (Nm)	Précision
DME	1025-1215MHz (UHF)	100	200 à 400	1/10Nm + 0,2%D

Le DME est interrogé par l'avion et lui répond. Il peut répondre simultanément à une 100aine d'appareils quel que soit la météo.



Il est fiable, précis si on tient compte de l'altitude (calcul de la distance horizontale à partir de la distance oblique) et possède une bonne portée.

Un ensemble VOR/DME permet de s'axer précisément sur une piste et de débiter la descente finale sans problème.

4. L'ILS

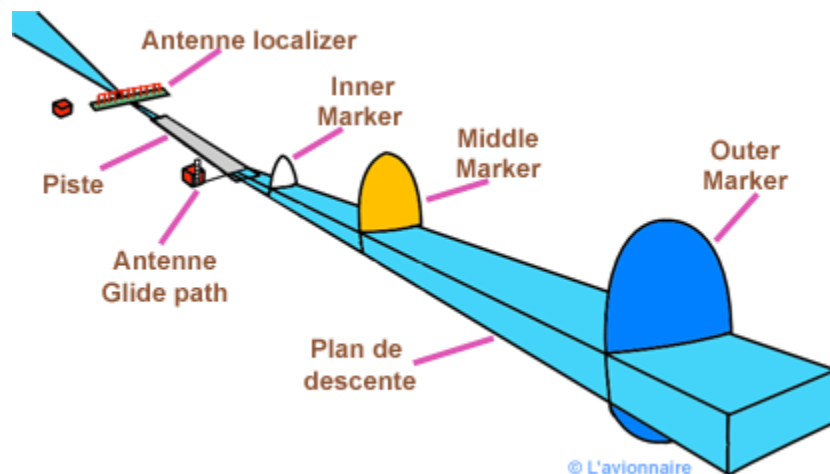
Seul moyen homologué **assez précis pour se poser par visibilité très limitée, voire quasiment nulle.**

L'instrument comprend un équipement sol constitué de 2 balises et d'un récepteur embarqué associé à un afficheur.

Les balises sol sont:

- le localizer qui permet de repérer l'axe de piste (loc)
- Le glide qui permet de repérer le plan de descente.
- Les markers qui indiquent la distance au seuil de piste.

La trajectoire de la finale est à l'intersection des 2 plans définis par ces balises.



L'afficheur comprend:

- un OBS qui permet d'afficher la direction de l'axe de la piste
- une barre verticale qui représente l'axe de la piste
- une barre horizontale qui représente le plan de descente.

L'ILS est très répandu. Tous les terrains recevant des avions en régime IFR en sont équipés.

Il faut un équipement par QFU (sens de piste).

Sa fiabilité et sa précision autorise des débits importants d'avions.

Les caractéristiques de l'ILS sont les suivantes:

	fréquences	Puissance (W)	Portée (Nm)	Précision
ILS	108 – 112 MHz	Loc : 100 Glide : 30	Loc : 25 Glide : 10	1/10° 1/100°

L'utilisation de l'ILS est assez simple:

la barre verticale est directionnelle lors de l'approche. Par exemple si elle est à gauche sur l'instrument, c'est que l'axe de piste est à gauche. Il faut donc altérer le cap à gauche pour s'aligner.

la barre horizontale est également à lecture directe. Par exemple si elle est dans la partie basse de l'instrument c'est que l'on est trop haut. Il faut augmenter le taux de descente pour rejoindre la pente idéale.



Le but pour le pilote est de maintenir les barres en croix au centre de l'instrument.

Attention à ne pas tricoter : une erreur de débutant consiste à trop corriger et à passer son temps à faire se croiser les aiguilles dans un sens et dans l'autre sans jamais les maintenir au centre de l'instrument.

L'afficheur de l'ILS peut être couplé à l'horizon artificiel et/ou au gyrocompas pour faciliter le pilotage en final lors des approches par mauvaise visibilité.

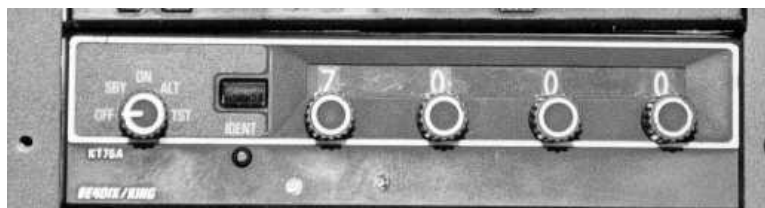
Un système plus performant permettant des approches courbes a été étudié (le MLS) mais n'a pas été mis en service.

5. Le transpondeur

Le transpondeur est un **appareil interrogé par un radar sol et envoyant à celui ci l'indicatif affiché par le pilote ainsi que l'altitude de l'avion.**

Le transpondeur permet aux contrôleurs d'identifier avec certitude les aéronefs.

Il est obligatoire pour le régime IFR et dans certaines zones également pour le vol VFR.



- Il existe des codes transpondeurs particuliers pour certaines situations:
- 77 00 : emergency
- 76 00 : panne radio
- 75 00 : détournement
- 13 00 : vol en TBA d'un aéronef militaire

Les appareils militaires possèdent des IFF particuliers permettant une identification sécurisée en cas de conflit.

6. Le GPS

Le GPS (Global Positioning System) est un **système de 24 satellites américains en orbite basse envoyant des signaux vers la terre.**

Un boîtier récepteur doit recevoir au moins trois satellites simultanément pour déduire sa position à partir de celle (connue) des satellites.

Les européens développent un système analogue et compatible (Galiléo) pour s'affranchir de la dépendance vis à vis des américains.

Ce système est aujourd'hui très fiable et la couverture est mondiale.

Il est employé comme moyen « secondaire » de navigation mais deviendra le moyen principal (et peut être unique) dans un avenir proche.

Sa précision (10m) permet d'envisager son utilisation comme moyen radionav pour assurer des approches finales.

Il est utilisé sur des aéronefs allant du parapente à l'avion de ligne.

Dans les aéroclubs il permet de limiter les cas de posés en campagne sur panne sèche après s'être égaré.